

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación geomecánica de la masa rocosa para  
a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía  
Minera Poderosa - 2020**

Luis Udwalker Palacios Quispe

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Julio Porras Mayta

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a los distinguidos profesores de la carrera profesional Ingeniería de Minas de la Universidad Continental por brindar sus sabios conocimientos para hoy en día poder cumplir con esta meta.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Donato y Fabiana, ya que en el día a día me inculcaron a los estudios para poder cumplir uno de mis más grandes sueños, y a los ingenieros de la carrera profesional Ingeniería de minas por brindarme conocimiento de primera mano.

## INDICE GENERAL

ASESOR.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA .....	IV
RESUMEN .....	X
SUMMARY .....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPITULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1 Problema general .....	13
1.1.2 Problemas específicos.....	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo general .....	14
1.2.2 Objetivos específicos .....	14
1.3 Justificación e importancia .....	15
1.3.1 Justificación práctica.....	15
1.3.2 Justificación metodológica .....	15
1.4 Hipótesis y descripción de variables .....	15
1.4.1 Hipótesis general .....	15
1.4.2 Hipótesis específicas .....	15
1.4.3 Variables .....	16
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes del problema .....	17
2.2 Bases teóricas .....	26
2.2.1 Macizo rocoso .....	26
2.2.2 Matriz rocosa .....	26
2.2.3 Discontinuidad de las rocas .....	27
2.2.4 Descripción de las discontinuidades del macizo rocoso.....	32
2.2.5 Descripción de los parámetros de los macizos rocosos.....	36
2.2.6 RQD (Rock Quality Designation), designación de la roca.....	37
2.2.7 Clasificación geomecánica de Bieniawski RMR 2014 .....	41
2.3 Definición de términos básicos .....	51
2.4. Unidad minera Poderosa .....	53

2.4.1. Generalidades .....	53
2.4.2. Geología.....	55
CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	58
3.4. Método y alcance de la investigación.....	58
3.4.1. Método general.....	58
3.4.2. Tipo de investigación .....	58
3.4.3. Nivel de investigación .....	58
3.5. Diseño de la investigación .....	58
3.6. Población y muestra .....	59
3.6.1. Población.....	59
3.6.2. Muestra .....	59
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
3.7.1. Técnicas de recolección de datos.....	59
3.7.2. Instrumentos de recolección de datos .....	59
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	60
4.1.1 Aspectos litológicos .....	60
4.1.2 Clasificación de la masa rocosa.....	60
4.2 Análisis de simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 .....	71
4.2.1 Condición estructural .....	71
4.2.2 Resistencia de la roca intacta .....	71
4.2.3 Propiedades de resistencia de la masa rocosa.....	71
4.2.4 Esfuerzos <i>insitu</i> .....	72
4.3 Estabilidad de la excavación.....	73
4.3.1 Análisis de estabilidad controlada por estructuras .....	73
4.3.2 Análisis de estabilidad controlada por esfuerzos .....	75
4.4 Diseño del sostenimiento .....	80
4.4.1 Diseño de sostenimiento mediante el uso del ábaco de Barton .....	80
4.4.2 Análisis de influencia del sostenimiento en la excavación .....	82
4.5 Discusión de resultado.....	82
CONCLUSIONES .....	87
RECOMENDACIONES .....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	90
ANEXOS.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Designación de calidad de la roca y su RQD.....	40
Tabla 2. Valoración del a presencia de agua en el frente .....	43
Tabla 3. Criterios para la valoración de la resistencia de discontinuidades .....	44
Tabla 4. Criterios para la valoración de la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua .....	44
Tabla 5. Ajuste por orientación del túnel respecto a las discontinuidades principales .....	45
Tabla 6. Correlación entre el RMR y $RMR_{TBM}$ .....	45
Tabla 7. Valores del factor de forma .....	47
Tabla 8. Clasificación de la plastificación de túneles en base al ICE .....	47
Tabla 9. Resistencia de la roca intacta – número de discontinuidades.....	48
Tabla 10. Condiciones de discontinuidades, presencia de agua y alterabilidad .....	49
Tabla 11. Factores de corrección .....	49
Tabla 12. Sostenimiento para el $RMR_{14}$ .....	50
Tabla 13. Macizo rocoso al índice RMR .....	51
Tabla 14. Accesibilidad de Cía. minera Poderosa .....	54
Tabla 15. Clasificación de la masa rocosa Roca caliza – Tajo 6380 (RMR) ....	61
Tabla 16. Clasificación de la masa rocosa Roca intrusivo – Tajo 6380 (RMR) ..	62
Tabla 17. Clasificación de la masa rocosa óxido – Tajo 6380 (RMR).....	63
Tabla 18. Clasificación de la masa rocosa Min. Polimetálico – Tajo 6380 (RMR) .....	64
Tabla 20. Clasificación de la masa rocosa Min. cobre – Tajo 6380 (RMR) .....	65
Tabla 20. Resumen de la clasificación de la masa rocosa (RMR) .....	67
Tabla 21. Calidad de la masa rocosa .....	67
Tabla 22. Propiedades elásticas y de resistencia de la roca intacta .....	71
Tabla 23. Propiedades de resistencia de la masa rocosa .....	72
Tabla 24. Esfuerzos insitu del proyecto.....	73
Tabla 25. Parámetros empleados en el diseño de sostenimiento.....	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macizo rocoso, matriz rocosa, discontinuidades .....	26
Figura 2. Diaclasas o juntas .....	28
Figura 3. Planos de estratificación .....	29
Figura 4. Fallas geológicas .....	29
Figura 5. Esquistosidad o foliación .....	30
Figura 6. Contactos litológicos .....	30
Figura 7. Diques.....	31
Figura 8. Orientación discontinuidades .....	32
Figura 9. Espaciado discontinuidades .....	33
Figura 10. Continuidad o persistencia .....	33
Figura 11. Rugosidad.....	34
Figura 12. Escala de rugosidad.....	34
Figura 13. Abertura o apertura .....	35
Figura 14. Relleno.....	35
Figura 15. Filtraciones.....	36
Figura 16. Gráfico para la puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_c$ ).....	42
Figura 17. Gráfico para la puntuación del número de discontinuidades por metro.....	43
Figura 18. Cálculo de Fe en función del RMR .....	46
Figura 19. Valores de Fs en función del ICE .....	47
Figura 20. Plano de ubicación de Cía. minera Poderosa.....	54
Figura 21. Tabla geomecánica (GSI) utilizada en la compañía minera Poderosa .....	66
Figura 22. Simbología cromática por calidad de roca .....	68
Figura 23. Plano de labores sin zonificación geomecánica del tajo 6380 .....	69
Figura 24. Zonificación geomecánica del tajo 6380.....	70
Figura 25. Cuñas significativas inestables generadas entorno a la excavación Tj.6380 .....	74
Figura 26. Cuñas significativas estabilizadas entorno a la excavación Tj.6380 .....	74

Figura 27. Cuñas significativas estabilizadas entorno a la excavación	
Tj.6380 .....	75
Figura 28. Modelo general de simulación, tajo 6380 .....	76
Figura 29. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 07 .....	76
Figura 30. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 08 .....	77
Figura 31. Gráfico 9 Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte	
Piso 09 .....	77
Figura 32. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 10 .....	78
Figura 33. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 10 .....	78
Figura 34. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 11 .....	79
Figura 35. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 11 .....	79
Figura 36. Estabilidad controlada por esfuerzos – excavación	
sin sostenimiento .....	80
Figura 37. Abaco para el dimensionamiento de sostenimiento en el	
Tj.6380, Nv.1170 .....	81
Figura 38. Estabilidad controlada por esfuerzos – excavación sostenida .....	82

## RESUMEN

La investigación planteó resolver el siguiente problema general: ¿Cuál es el resultado de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020? El objetivo general fue analizar el resultado de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa – 2020, planteándose como hipótesis lo siguiente: la evaluación geomecánica de la masa rocosa que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y las propiedades de las discontinuidades tiene relación directa con la explotación del tajo 6380 Nv.2910. La muestra no probabilística y por consiguiente no aleatoria estuvo conformada por el tajo 6380 Nv.2910 de la compañía minera Poderosa - 2020.

El método general empleado fue el científico, tipo aplicada, nivel explicativo, de diseño experimental y de corte longitudinal, la población estuvo conformada por los tajos del nivel 2910 de la compañía minera Poderosa.

Producto de la investigación se concluye que de las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso para la exploración del tajeo 6380 del nivel 2910, de acuerdo a los datos obtenidos por el muestreo geomecánico, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV - <B, Regular III – A. Los datos obtenidos para la densidad son de  $2.7 \text{ t/m}^3$ , el esfuerzo vertical es de 23.90 Mpa, mientras que el valor del esfuerzo horizontal se 7.52 Mpa.

**Palabras claves:** Evaluación geomecánica, masa rocosa, explotación del tajo.

## SUMMARY

The research set out to solve the following general problem: What is the result of the geomechanical evaluation of the rock mass for the exploitation of pit 6380 Nv. 2910, Poderosa mining company - 2020, and whose general objective was: Analyze the result of the Geomechanical evaluation of the rock mass for the exploitation of pit 6380 Nv. 2910 Powerful mining company - 2020, considering as hypothesis to be contrasted was: The geomechanical evaluation of the rock mass that includes the physical and mechanical properties of the intact rock and the properties of the discontinuities are directly related to the exploitation of pit 6380 Nv.2910; The non-probabilistic and therefore non-random sample consisted of pit 6380 Nv. 2910 of the mining company Poderosa - 2020.

The general method used was scientific, applied type, explanatory level, experimental design and longitudinal cut, the population was made up of the population of the pits of level 2910 of the Poderosa mining company.

As a result of the research, it is concluded that: From the physical and mechanical properties of the intact rock and the rocky massif for the exploration of pit 6380 of level 2910, according to the data obtained by the geomechanical sampling, it is established that the rocky massif is find: between poor to fair with a total RMR rating is between 35 to 55 points, whose description of the rock mass class is Mala IV - <B, Regular III - A; The data obtained for the density is 2.7 t / m<sup>3</sup>, the vertical stress is 23.90 Mpa, while the value of the horizontal stress is 7.52 Mpa.

Keywords: Geomechanical evaluation, rock mass, exploitation of the pit.

## **INTRODUCCIÓN**

La presente tesis pretende realizar la investigación sobre los aspectos geomecánicos; los cuales infieren en un deficiente modelo del comportamiento del macizo. Esto debido a que en los estudios de campo no se considera la deformación del macizo debido a las afectaciones estructurales, estabilidad de obras subterráneas, afectaciones dinámicas en minas subterráneas, los cuales son tomados en los diseños de los tajeos.

Con la determinación de los esfuerzos tanto del mineral como cajas se podrá controlar la recuperación del mineral debido a la dilución que se generan por los desprendimientos de material tanto de los hastiales como del techo. Para una mejor comprensión, esta tesis se desarrolló en cuatro capítulos los cuales se detallan a continuación:

En el capítulo I se detalla el planteamiento y formulación del problema dando a conocer el problema general y específico, del mismo modo se cita el objetivo general y específico seguidamente de la justificación práctica y metodológica; para culminar este capítulo se exponen la hipótesis general, específica y las variables de esta investigación.

El capítulo II trata de los antecedentes nacionales e internacionales, así como de las bases teóricas y la definición de términos básicos de la investigación.

El capítulo III está destinado para la metodología de la investigación, donde se resalta el método general, tipo, nivel, diseño, población y muestra, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV corresponde a resultados y discusión en donde se exponen los datos que se obtuvieron de la investigación.

Finalmente se dan a conocer las conclusiones recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

Los principales problemas que enfrenta la mina respecto a la explotación de tajos están relacionados con falta o insuficientes estudios geomecánicos; los cuales infieren en un deficiente modelo del comportamiento del macizo. Esto, debido a que en los estudios de campo no se considera la deformación del macizo debido a las afectaciones estructurales, estabilidad de obras subterráneas, afectaciones dinámicas en minas subterráneas, afectación de los terrenos y obras de superficie por los trabajos subterráneos y problemas de diseño. Estos problemas se evidencian en la unidad minera con las paralizaciones que se tiene en proceso de explotación de los tajos, baja recuperación del mineral debido a la dilución que se generan por los desprendimientos de material tanto de los hastiales como del techo; en tal sentido se hace necesario la investigación con la finalidad de determinar las causas que generan dichos problemas.

##### **1.1.1 Problema general**

¿Cuál es el resultado de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la zonificación geomecánica del macizo rocoso para la explotación del tajo 6380?
- b) ¿Cuál es resultado de la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380?
- c) ¿Cuál es el resultado de la simulación de deformación y esfuerzos mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380?
- d) ¿Cuál es el resultado de la interpretación del ábaco de Barton con el fin de dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar los resultados de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa – 2020.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Realizar la zonificación geomecánica del macizo rocoso para la explotación del tajo 6380.
- b) Analizar la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380
- c) Interpretar el resultado de la simulación de deformación y esfuerzos mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380
- d) Efectuar la interpretación del ábaco de Barton con el fin de dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380.

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación práctica**

Con el desarrollo de la investigación se proporcionará datos con la finalidad de establecer de forma segura la secuencia de explotación en el tajo 6380 en la compañía minera Poderosa Nv.2910 compañía minera Poderosa.

#### **1.3.2 Justificación metodológica**

Para el desarrollo de la presente tesis, el investigador creara instrumentos y metodologías propias para la recolección de datos de campo. Estas metodologías podrán ser empleadas para otras investigaciones que presenten un similar enfoque.

### **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

La evaluación geomecánica de la masa rocosa que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y las propiedades de las discontinuidades tiene relación directa con la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020.

#### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- a) La zonificación geomecánica del macizo rocoso tiene relación directa con la explotación del tajo 6380
- b) Con los resultados de la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 se permitirá establecer las etapas de minado del tajo 6380
- c) Los resultados de la simulación de deformación y esfuerzos verticales y horizontales mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 permite establecer los parámetros las etapas de minado del tajo 6380
- d) La interpretación del ábaco de Barton nos permite dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380



### **1.4.3 Variables**

#### **A) Variable Independiente (X)**

Evaluación geomecánica de la masa rocosa

##### **Indicadores:**

- Zonificación geomecánica
- Formación de cuñas
- Esfuerzos
- Abaco de Barton

#### **B) Variable dependiente (Y)**

Explotación de tajo

##### **Indicadores:**

- Seguridad
- Volumen de mineral

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

Tesis de pregrado que lleva como título “*Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 Cooperativa Cooprocabón Sugamuxi municipio de Gámeza Boyacá*”. (1) El investigador tuvo como objetivo general realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso del área.

Los objetivos específicos son:

- Realizar la recopilación, validación y análisis de la información existente.
- Realizar las visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales.
- Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismos.
- Determinar la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por *(Bienaiwsky, 1989)* conocido como *RMR (Rock Mass Rating)*.

Sus conclusiones fueron:

- En la zona de estudio se encontraron Arcillas de la formación Guaduas, areniscas de la formación Guaduas y principalmente carbones de la formación Guaduas, los cuales actualmente son explotados, pero su estabilidad se ve afectada por la alta sismicidad debido a la presencia de fallas. Además de esto la zona se ve afectada por la actividad minera subterránea que allí se realiza.

- La cooperativa Cooproc carbón Sugamuxi posee tres bloques carboníferos delimitados por fallas regionales los cuales se denominan bloque Guanto Norte, Bloque Guanto Sur y Bloque Motua.
- El presente estudio se realizó con la clasificación propuesta por Bieniawski, la cual se concluyó clasificando el macizo rocoso como clase III calidad media con una valoración correspondiente al rango 60-41 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm<sup>2</sup>, y un ángulo de rozamiento de 25°- 35°. Indicando que es medianamente estable, pero al variar alguna de las condiciones estudiadas este podría tender a fallar.
- Con el trabajo realizado con el programa Dips se pudo establecer dos familias de discontinuidades.
- Observando las características geomecánicas de la zona se encontró un movimiento de remoción en masa entre el bloque Guantó Norte y el bloque Motua, además allí se presenta el paso de la falla Tópaga, la Falla Coyata, y el anticlinal de Tierramiqui.

Tesis de pregrado que lleva como título *“Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”).* (2) Se tuvo como objetivo general realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”).

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar geológicamente el área de estudio a escala 1:1000
- Determinar los parámetros geomecánicos del macizo rocoso tales como: resistencia a compresión simple, RQD (Rock Quality Designation), espaciado y condición de las discontinuidades y presencia de agua.

- Determinar los elementos geométricos de las canteras como: talud banco, ancho de plataformas de trabajo, altura de bancos y prisma de deslizamiento.
- Realizar el análisis cinemático y estabilidad de los taludes de las canteras mediante el método SMR (Romana).
- Diseñar los elementos geométricos: ángulo de inclinación de los bordes finales, ancho de plataformas, ángulo de talud y altura de bancos de las canteras tanto para la etapa de operación y cierre.
- Recomendar los elementos geométricos: ángulo de inclinación de los bordes finales, ancho de bermas de seguridad, ángulo de talud y altura de bancos apropiados para la estabilidad de taludes para un adecuado plan de cierre y liquidación de las canteras.

Se concluye que:

- De acuerdo a la caracterización geológica de la concesión minera Fucusucu III se distingue una litología propia de un domo Dacítico, siendo la unidad Dacita con anfíbol y piroxeno la que aflora mayormente y el principal recurso explotable; también se identificó la presencia de la unidad Dacita con anfíbol posee una tonalidad rojiza producto de la oxidación termal que aflora al S y O de la cantera; finalmente, se observó la presencia de un depósito de tipo “block and ash”, el mismo que corroboró que el material de extracción corresponde a un domo volcánico.
- La caracterización geomecánica realizada por el Método de Bieniawski (1989) en la cantera Fucusucu III permitió determinar que la calidad del macizo rocoso va de clase IV (buena) a clase V (muy mala), predominando la roca de clase III (media). En tramos donde el material está altamente triturado adquirió una valoración RMR muy baja, es decir clase V (mala).
- La cantera Fucusucu III se explota de forma técnica cuyo diseño de explotación está conformado por los siguientes elementos: profundidad=300 m, altura de banco=10 m, ángulo de talud de trabajo=75°, altura de subbanco=3 m, berma=10 m y plataformas de trabajo=20 m. El

diseño de liquidación presentará los siguientes parámetros geométricos: altura de banco=10m, ángulo de inclinación de los bordes finales de la cantera=60°, bermas de liquidación=10m, berma de resguardo=50m y ángulo de borde de liquidación=32° mismo que corresponde al ángulo natural de inclinación de domos aledaños al sector que poseen las mismas características geológicas.

- Mediante el empleo del método Romana SMR (1985), se identificaron sectores con estabilidad que van de buena (clase II) a muy mala (clase V) en la Cantera Fucusucu III. Los tramos con estabilidad mala muestran roturas de tipo planar y en cuña; y en el caso de los tramos con estabilidad muy mala no se observaron discontinuidades por las características del material, por lo que no se pudo determinar ninguna clase de rotura, adquiriendo directamente el valor RMR asignado.
- Los taludes de la cantera Fucusucu III catalogados con una estabilidad muy mala (clase V) mediante el método Romana SMR (1985), deben disminuir su ángulo tanto en la etapa de operación como en la de liquidación a 30°, debido a que, según pruebas realizadas en el campo, este tipo de material alcanza estabilidad en el ángulo mencionado.
- La cantera Fucusucu III presenta tramos que poseen una rotura planar, la cual origina inestabilidad. La sección 2360-III-A necesita una corrección tanto en el ángulo de talud como en su altura. El ángulo de talud propuesto para las etapas de operación y cierre es de 50° que difiere con los ángulos de diseño establecidos por los técnicos de la cantera; de igual forma la altura con la que se trabaja actualmente (20 m) debería ser la establecida en los diseños (10 m). Las secciones 2350-II-A-B2 y 2350-II-A-B3 deberían reducir su ángulo de talud en trabajo a 60°, que debe mantenerse en la etapa de liquidación.
- Finalmente, a la sección 2270-II-C se recomienda disminuir el ángulo de trabajo a 70° y mantener el ángulo de liquidación de 60° propuesto por los técnicos.

- En la sección 2304-II-A de la Cantera Fucusucu III, se identificó una rotura en cuña por lo que es aconsejable cambiar el azimuth de buzamiento del talud a 180°, con lo cual no se produciría ningún tipo de rotura.
- En la concesión minera Esperanza se explota material correspondiente al flujo de lava Antisanilla, de acuerdo a la caracterización geológica realizada se determinaron tres unidades litológicas: la Autobrecha andesítica basáltica ferruginosa con piroxeno, lava de composición andesítica basáltica con piroxeno y lavas basálticas tipo aa.
- El análisis geomecánico (RMR) realizado en la cantera Esperanza, se lo hizo en remanentes pertenecientes a la lava masiva que han quedado expuestos en el área actualmente explotada, dando una calidad de roca que va de buena a muy buena la cual no puede ser explotada mediante una excavadora sino con el uso de técnicas de perforación y voladura.
- Actualmente la cantera Esperanza no cuenta con un diseño técnico de operación, debido a que la explotación se la realiza desde la cota más baja con la ayuda de una excavadora que desmonta únicamente la autobrecha y deja al descubierto la parte masiva del flujo.
- El diseño de explotación que se propone en la presente investigación para la cantera Esperanza se conforma de bancos descendentes iniciando desde la cota 3250 m s. n. m. ubicada en la parte norte de la concesión, sus parámetros son los siguientes: profundidad=30 m, altura de bancos=5 m, bermas=2 m y ancho de plataformas de trabajo=25 m.
- Se ha realizado un análisis gráfico tomando como base la topografía de la cantera Esperanza, con el fin de estimar las reservas extraíbles que serían de 1 640 995,45 m<sup>3</sup>.
- El diseño de liquidación propuesto para la cantera Esperanza posee los siguientes parámetros: ángulo de inclinación de los bordes de la cantera=40°, ángulo del borde de liquidación=32°, altura de bancos=5 m y ancho de bermas= 2 m.

- Tanto la cantera Fucusucu III como Esperanza contarán con una megaplataforma final que podrá ser utilizada con fines recreacionales en beneficio de la comunidad.

Tesis de pregrado denominada “*Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea*”. (3) El investigador tuvo como objetivo general la preparación de un modelo geomecánico en tres dimensiones y establecer una metodología técnica, que constituya una herramienta para evaluar el dimensionamiento de ancho y largo de los tajeos, así como la secuencia de minado y la optimización del relleno en pasta.

La preparación de un modelo geomecánico en tres dimensiones y establecer una metodología técnica, que constituya una herramienta para evaluar el dimensionamiento de ancho y largo de los tajeos, así como la secuencia de minado y la optimización del relleno en pasta. Para lograr este objetivo, se realizó una revisión y evaluación geomecánica mediante la recopilación de información proveniente de estudios geomecánicos anteriores que fueron validados mediante un análisis de brechas o “gap analysis”, este análisis indicó que era necesario un remuestreo de testigos de perforación, mapeo de detalle de galerías y accesos, así como ensayos de laboratorio complementarios.

Para el modelamiento se empleó el software especializado Map3D (Map3D International Ltd.), este es un software especializado en el análisis de esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad que utiliza el Método BEM (Método de Elementos de Borde). Map3D es adecuado para los problemas de modelamiento del Macizo Rocosos que involucran excavaciones irregulares masivas en 3D, túneles y formas tabulares.

Producto de su investigación concluye que:

- Modelo geomecánico

La clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR76) para el *OreBody* de estudio está clasificado predominantemente como roca regular y en algunos sectores localizados como roca mala. En la siguiente tabla, se muestran los valores de clasificación para los dominios litológicos establecidos.

- Dimensionamiento de tajos

Los tajos actuales están sobredimensionados debido a que se han obtenido valores de sobreexcavación de paredes laterales (ELOS) elevados, superando en la mayoría de casos los 2 metros. Asimismo, se han observado casos de sobreexcavación en las bóvedas o techos de los tajos, los cuales se han visto afectados en cierta medida por el sobreexcavación en las paredes laterales de los mimos.

- Debido a que la situación de la mina se encuentra en operación se tienen algunas restricciones de diseño, las cuales son la altura y ancho de los tajeos. Por tal motivo, el análisis del dimensionamiento se basó principalmente en obtener la longitud de tajeo que permita garantizar la estabilidad de las paredes laterales y la máxima recuperación de los tajeos.
- Considerando los resultados del modelo geomecánico del macizo rocoso y el estado actual de la explotación de la mina, se recomiendan las siguientes dimensiones de los tajeos tanto para la roca regular predominante en la mina como para la roca mala que se presentan en sectores localizados.

Tesis de pregrado titulada “*Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera Cerro Lindo – compañía minera Milpo*”. (4) Se tuvo como objetivo general cuyo objetivo general fue realizar la evaluación geomecánica de la masa rocosa para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo Cía. Minera Milpo.

Los problemas específicos son:

- Investigar los estudios de campo de la masa rocosa para determinar su calidad.



- Determinar los índices geomecánicos de las labores subterráneas en la Mina Cerro Lindo.
- Considerar los parámetros necesarios para el diseño de los tajeos de producción en la Mina Cerro Lindo.

Sus conclusiones son:

- El yacimiento de Cerro Lindo está emplazado en rocas de la formación Huaranguillo perteneciente a la secuencia volcánica-sedimentaria del Cretáceo Medio a Inferior denominada grupo Casma, que descansa como un techo colgado, con rumbo general N 60°W y un buzamiento preferencial SW, sobre los intrusivos del Batolito de la Costa perteneciente al Cretáceo Superior hasta el Terciario; esta faja intrusiva está compuesta por rocas granodioritas, tonalitas y dioritas de afinidad calcoalcalinas.
- Los cuerpos mineralizados de Cerro Lindo están emplazados en rocas volcánicas de tipo riolíticas gradando a riodacíta. También está presente en el área de estudio una unidad piroclástica que se intercala dentro de unidades de flujos riolíticos.
- El yacimiento Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo vulcanogénico (VMS Volcanogenic Massive Sulphide) tipo Kuroco. Presenta orientación NW, buzando 65°SW y tiene dimensiones de 1,350 m de largo, 83 m de ancho y 245 m de profundidad. Tiene 7 cuerpos mineralizados (OB1 al 7).
- La litología simplificada de la mina Cerro Lindo involucra a 3 tipos de rocas: los sulfuros donde está el mineral, los volcánicos y los diques. Los volcánicos aparecen alrededor de los sulfuros conformando la roca encajonante, mientras los diques cortan transversalmente a la zona de sulfuros y a los volcánicos. Dentro de la zona mineralizada aparecen enclaves de roca volcánica que son extraídos junto con el mineral durante la explotación del yacimiento.
- El análisis de distribución de discontinuidades ha indicado que el arreglo estructural de la masa rocosa dentro de cada litología de Cerro Lindo, debajo

del Nv. 1800, está conformado por 2 sistemas principales de discontinuidades, siendo uno de ellos el dominante, y de 1 a 2 sistemas secundarios.

- Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas y fallas. El sistema 1 involucra a fallas transversales a los cuerpos mineralizados. Aparte del arreglo estructural general de las áreas del OB2 y OB5, de manera localizada se presentan discontinuidades aleatorias.
- Los resultados de la clasificación geomecánica de la masa rocosa debajo del Nv. 1820, efectuada a partir de la información registrada en el mapeo geomecánico de labores subterráneas; en el OB5 y OB6, las masas rocosas de calidad Buena (II) representan el 34 %, las de calidad Regular A (IIIA) representan el 33 %, las de calidad Regular B (IIIB) representan el 20 %, las de calidad Mala A (IVA) representan el 6 % y las de calidad Mala B (IVB) representan el 7 %.
- Los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, determinados a partir de ensayos realizados en campo y en laboratorio y a partir de la utilización de criterios de falla apropiados.
- En la mina Cerro Lindo no es muy significativa la presencia de agua subterránea, generalmente las condiciones naturales son de secas a húmedas. La presencia de agua está relacionada principalmente a la operación minera: agua de las perforaciones de producción, el agua de las perforaciones diamantinas, y el agua del relleno, que se infiltran en la masa rocosa y percolan hacia las labores inferiores.
- ✓ Utilizando toda la información básica mencionada en las conclusiones precedentes, se han realizado una serie de análisis, el dimensionamiento de los diferentes componentes estructurales asociados al minado estará en función del arreglo estructural de la masa rocosa y del comportamiento esfuerzo/deformación de la misma, donde se determina las dimensiones apropiadas en el capítulo VI.

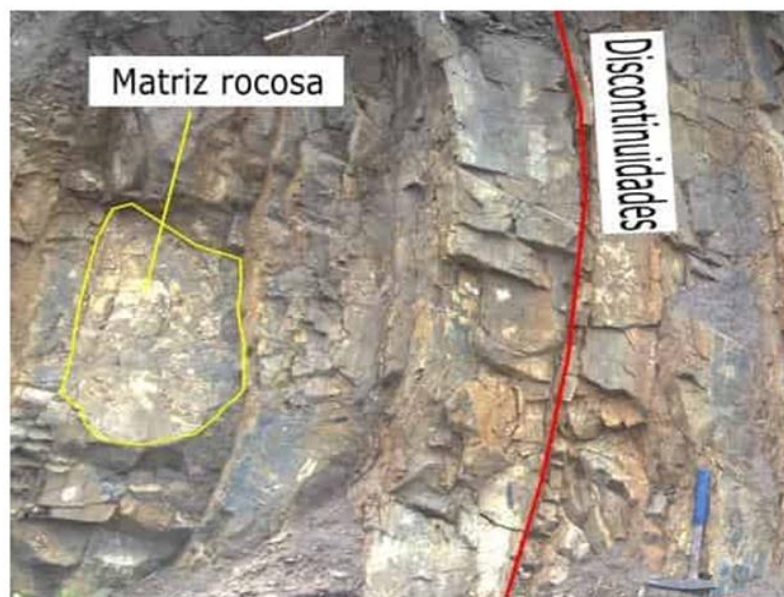
## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Macizo rocoso

Los macizos rocosos (las masas rocosas) ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso. (5)

Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, mecánicamente los macizos rocosos pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula.

El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso, es así, que para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.



**Figura 1. Macizo rocoso, matriz rocosa, discontinuidades**  
*Tomado de Geologiaweb.com*

### 2.2.2 Matriz rocosa

La matriz rocosa es el material rocoso que ocurre sin discontinuidades, es decir que son los bloques de roca intacta que ocurren entre las discontinuidades de roca, a pesar de que la matriz rocosa se considera continua, presenta

comportamiento heterogéneo y anisótropo relacionado a la fábrica estructural.  
(5)

Hay que recalcar que la roca o matriz rocosa a escala microscópica, también presenta comportamiento discontinuo, anisótropo y heterogéneo por la presencia de planos de laminación, microfisuras, orientación preferente de minerales, foliación, etc; pero bajo el punto de vista geotécnico, la mecánica de rocas de la matriz rocosa se considera continua e isótropa en relación con el macizo rocoso en su conjunto.

Mecánicamente la matriz rocosa se caracteriza por su peso específico, resistencia y deformabilidad.

La matriz rocosa es la roca intacta o bloque de roca ubicado entre las discontinuidades, en la descripción de macizos rocosos es de vital importancia la identificación de la litología correspondiente a la matriz rocosa. (5)

La matriz rocosa puede estar representada por los tres tipos de rocas que se conocen en geología, es decir rocas ígneas, rocas sedimentarias o rocas metamórficas.

### **2.2.3 Discontinuidad de las rocas**

Las discontinuidades geológicas o discontinuidades de las rocas constituyen planos de debilidad (planos de estratificación, foliación, diaclasas, clivaje, orientación de minerales, etc) que controlan, el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, porque condicionan el mecanismo de deformación y rotura ante los esfuerzos. (5)

Las discontinuidades que ocurren en los macizos rocosos son planos de debilidad que pueden tener origen mecánico o tectónico (diaclasas tectónicas), sedimentario (planos de estratificación), enfriamiento de rocas (diaclasas de enfriamiento) y metamórfico (foliación), las discontinuidades independizan los bloques de matriz rocosa.

Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula, es así que, su comportamiento mecánico es caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno.

#### **A) Tipos de discontinuidades geológicas**

- **Diaclasas o juntas**

Son los planos de discontinuidad más frecuentes que se forman en los macizos rocosos, su origen puede ser de tres formas: por tectónismo (origen tectónico), por enfriamiento del cuerpo ígneo, y por reducción de la carga litostática. (5)

Las diaclasas de origen tectónico, suelen estar asociadas al plegamiento de las rocas (sedimentarias principalmente) y a la acción de fallas geológicas sobre cualquier tipo de roca. Las diaclasas asociadas a fallas suelen ser paralelas a las fallas, mientras que las diaclasas que se forman en plegamientos suelen ser perpendiculares a los esfuerzos tectónicos. (5)

Las diaclasas de enfriamiento o que se forman por el enfriamiento de los cuerpos ígneos, se forman antes o después del emplazamiento del cuerpo, suelen ser ortogonales entre sí, un ejemplo típico son las estructuras columnares de los flujos de lava.

Las diaclasas que se forman por la reducción de la carga litostática suelen ser paralelas a la superficie topográfica y la frecuencia con la que ocurren disminuye a profundidad.



**Figura 2. Diaclasas o juntas**  
*Tomado de Geologiaweb.com*

- **Planos de estratificación**

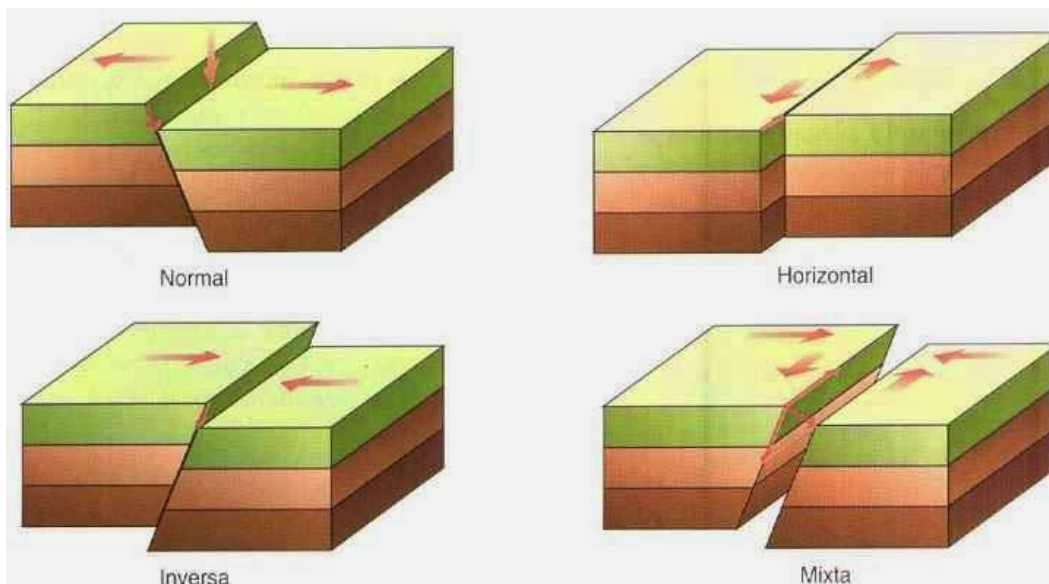
Son los planos relacionados a la deposición de los sedimentos en las rocas sedimentarias, suelen tener un espaciado sistemático que varía entre pocos centímetros a varios metros. (5)



**Figura 3. Planos de estratificación**  
Tomado de Geologiaweb.com

- **Fallas geológicas**

Son planos de origen tectónico que afectan las rocas, suelen causar movimiento relativo entre los bloques que componen el macizo rocoso. (5)



**Figura 4. Fallas geológicas**  
Tomado de Geologiaweb.com



- **Esquistosidad o foliación**

Son planos o discontinuidades que se forman principalmente por tectónismo intenso, y se asocian a la fábrica de las rocas metamórficas (esquistos, Gneis).

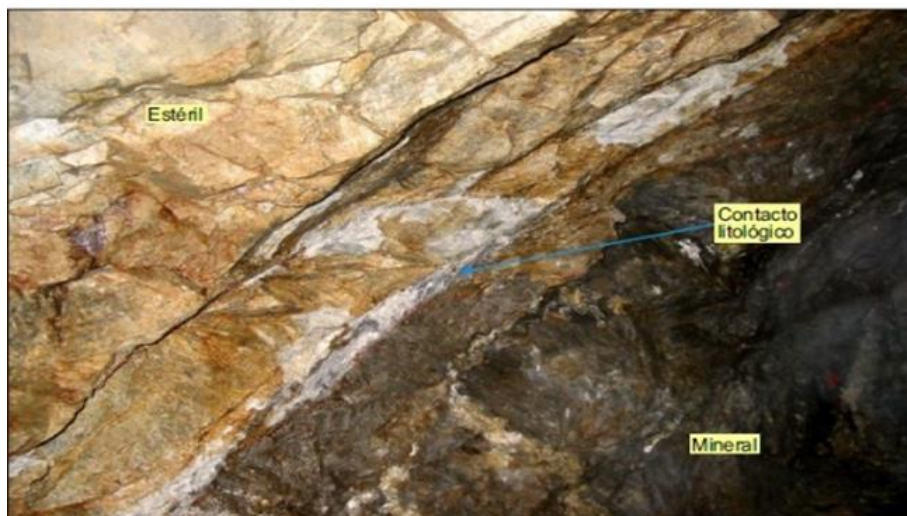
(5)



*Figura 5. Esquistosidad o foliación  
Tomado de Geologiaweb.com*

- **Contactos litológicos**

Cuando comúnmente forman por ejemplo la caja techo y piso de una veta. (5)



*Figura 6. Contactos litológicos  
Tomado de Geologiaweb.com*

- **Diques**

Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presenta generalmente empinados o verticales. (5)



*Figura 7. Diques  
Tomado de Geologiaweb.com*

### **B) Descripción y caracterización de macizos rocosos**

La descripción de macizos rocosos es una actividad que se realiza in situ en investigaciones de ingeniería geológica que tiene fines geotécnicos (geotecnia) y de ingeniería civil, la caracterización de macizos rocosos proporciona información de las propiedades geotécnicas de los materiales rocosos. (5)

La descripción de los macizos rocosos se realiza mediante la zonificación del afloramiento en mecánica de rocas, que incluye la descripción de las discontinuidades del macizo rocoso (discontinuidades geológicas), descripción de la matriz rocosa y la descripción de los parámetros del macizo rocoso. (5)

### **C) Descripción de la matriz rocosa**

- La descripción de la matriz rocosa incluye:
- Identificación litológica de la matriz rocosa
- Grado de meteorización de la matriz rocosa
- Resistencia de la matriz rocosa
- Identificación de la matriz rocosa



#### **D) Meteorización de la matriz rocosa**

La meteorización de la matriz rocosa es condicionada por factores ambientales que generan procesos físicos y químicos que afectan al macizo rocoso en general, mientras mayor sea la meteorización ocurre aumento de la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al mismo tiempo que disminuye su resistencia. (5)

#### **E) Resistencia de la matriz rocosa**

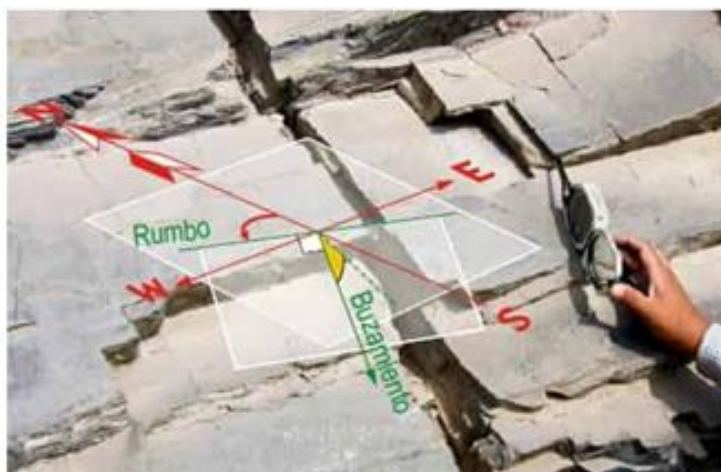
La resistencia de la matriz rocosa se puede estimar mediante ensayos de campo in situ como el ensayo de carga puntual (PLT) o el martillo Schmidt, que se pueden correlacionar con la resistencia a la compresión simple y esta a su vez define si el macizo rocoso es entre muy blando a extremadamente duro. (5)

#### **2.2.4 Descripción de las discontinuidades del macizo rocoso**

La descripción de las discontinuidades del macizo rocoso incluye:

##### **A) Orientación**

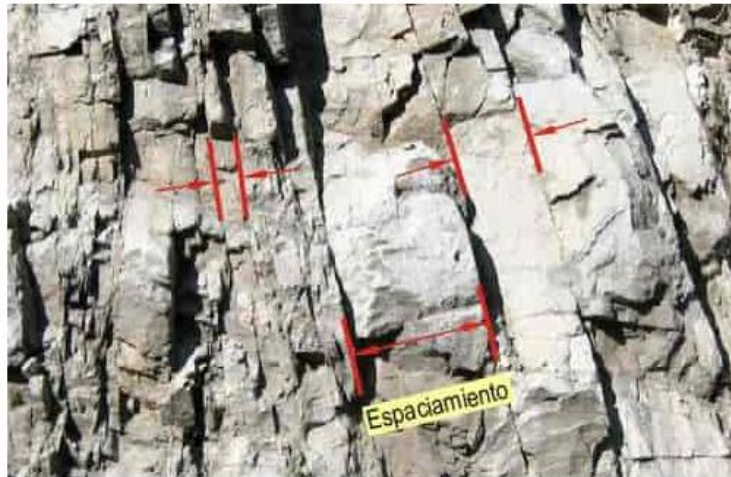
La orientación de las discontinuidades se mide o define por su rumbo y buzamiento y corresponde a la posición espacial de los planos de debilidad (juntas, diaclasas, fallas, estratificación, etc), es así que cuando un grupo de discontinuidades presentan similitudes o son paralelas entre sí se dice que son familias de discontinuidades. (5)



**Figura 8. Orientación discontinuidades**  
*Tomado de Geologiaweb.com*

## B) Espaciado

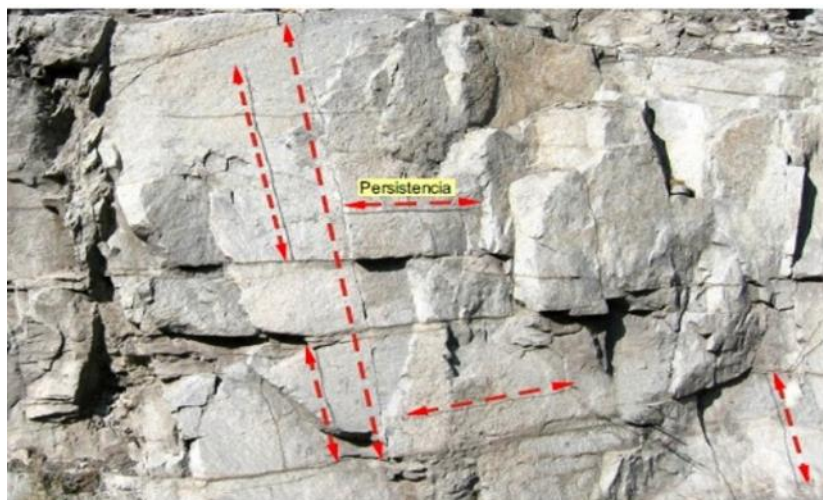
El espaciado corresponde a la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, es así que, entre menos espaciado los bloques de matriz rocosa (roca intacta) serán más pequeños y entre más espaciado, los bloques de matriz rocosa serán más grandes. (5)



**Figura 9. Espaciado discontinuidades**  
Tomado de Geologiaweb.com

## C) Continuidad o persistencia

La persistencia o continuidad corresponde a la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en el macizo rocoso, es así que cuanto menor sea la persistencia, la estabilidad de la masa rocosa es mayor y si la persistencia es mayor, la estabilidad del macizo rocoso es menor. (5)

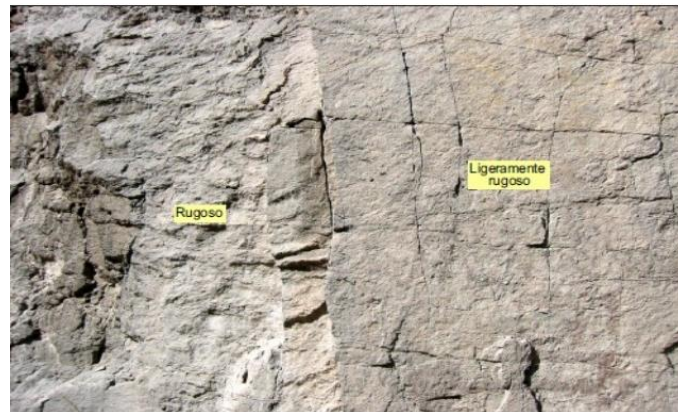


**Figura 10. Continuidad o persistencia**  
Tomado de Geologiaweb.com

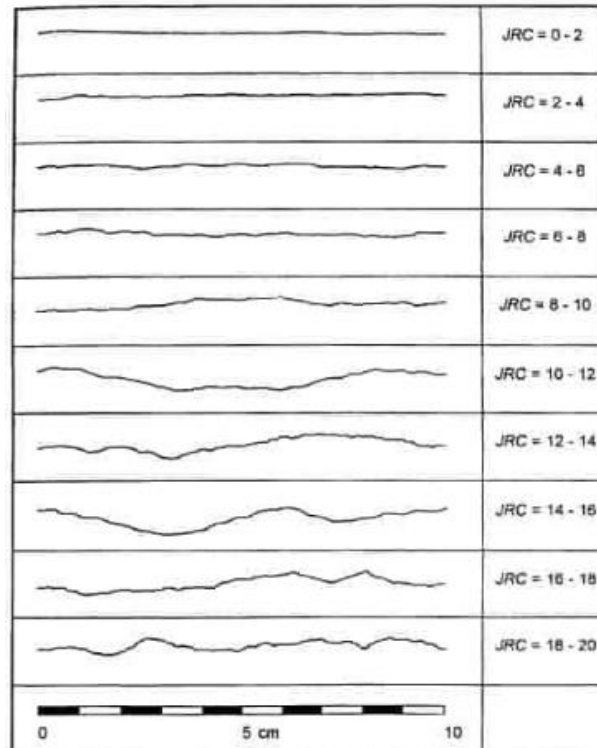
#### D) Rugosidad

La rugosidad corresponde a la aspereza o irregularidad que ocurre en la superficie de las discontinuidades, es así que, entre menor rugosidad tenga una discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es menor y entre mayor rugosidad tenga la discontinuidad, la competencia del macizo rocoso es mayor.

(5)



**Figura 11. Rugosidad**  
Tomado de Geologiaweb.com



**Figura 12. Escala de rugosidad**  
Tomado de Geologiaweb.com

### **E) Apertura**

La abertura o apertura corresponde a la separación que existe entre las paredes o superficies rocosas de una discontinuidad, es así que, a menor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será mayor y a mayor abertura, la estabilidad y condición del macizo rocoso será menor. (5)



**Figura 13. Abertura o apertura**  
*Tomado de Geologiaweb.com*

### **F) Relleno**

El relleno corresponde a los materiales que se alojan en los espacios de las discontinuidades, es así que, cuando los materiales de relleno son suaves (arcillas), la competencia del macizo rocoso es menor y cuando el relleno consiste de materiales duros (sílice), la competencia del macizo rocoso es mayor. (5)



**Figura 14. Relleno**  
*Tomado de Geologiaweb.com*



## G) Filtraciones

La mayoría de las rocas presentan permeabilidades bajas. La filtración y el flujo del agua a través de la matriz rocosa se produce a favor de los poros y fisuras. (5)



**Figura 15. Filtraciones**  
*Tomado de Geologiaweb.com*

### 2.2.5 Descripción de los parámetros de los macizos rocosos

La descripción de los parámetros de los macizos rocosos incluye:

- **Número y orientación de familias de discontinuidades**

El número o cantidad de familias de discontinuidades condiciona la intensidad de fracturación y el tamaño de los bloques de matriz rocosa, por lo tanto, influye en el comportamiento mecánico general del macizo rocoso, es así que debe reconocerse las familias de discontinuidades principales. (5)

Para reconocer las familias de discontinuidades, se toma en cuenta en cuenta desde la familia principal a la menos relevante, es así que, la familia principal será la que esté presente en mayor porcentaje en el macizo y será la más fácil de reconocer. (5)

- **Grado de facturación del macizo rocoso**

El grado de facturación del macizo rocoso es condicionado por la cantidad de familias de discontinuidades presentes y el espaciado que tengan entre las mismas, es así que, el tamaño de la matriz rocosa es menor a mayor número de familias de discontinuidades. (5)

- **Grado de meteorización del macizo rocoso**

El grado de meteorización responde a factores medioambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que descomponen la masa rocosa in situ, la evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se lo puede hacer directamente sobre el afloramiento. (5)

## **2.2.6 RQD (Rock Quality Designation), designación de la calidad de la roca**

El RQD o designación de calidad de la roca es un método muy popular que sirve para definir parámetros iniciales de calidad de un macizo rocoso. (5)

El índice RQD fue desarrollado en 1964 por D. U. Deere. Se determina midiendo el porcentaje de recuperación de testigo en testigos que miden más de 100 mm de longitud. Los testigos que no estén duros o firmes no deben contarse, aunque midan más de 100 mm de longitud. El índice RQD fue introducido para usarse con diámetros de testigo de 54,7 mm (testigo de tamaño NX). Se trata de uno de los principales indicadores para las zonas de roca de baja calidad. En la actualidad, el índice RQD se utiliza como parámetro estándar en el registro de testigos de perforación y es un elemento básico de los principales sistemas de clasificación de masa: el sistema de clasificación geomecánica de Bienawiski (RMR) y el sistema Q.

La designación de calidad de roca (RQD) es una medida de la calidad del núcleo o testigo de roca tomada de un pozo. RQD significa el grado de unión o fractura en una masa de roca medida en porcentaje, donde el RQD del 75% o más indica una roca dura de buena calidad y menos del 50% indica muestras de rocas erosionadas de baja calidad”.

“Esta prueba que se puede hacer en el campo proporciona una evaluación de la solidez de la roca y los daños causados por la intemperie”.

- **Condiciones para el cálculo del RQD**

El RQD debe registrarse en el sitio cuando el núcleo se recupera porque algunas rocas pueden desintegrarse, debido a desecación, alivio del estrés o

hinchazón, con el tiempo; por estas rocas se recomienda que el RQD se mida de nuevo después de 24 horas. (5)

La medición del RQD se lo hace en cada maniobra del sondeo o en la variación de litología, es recomendable que la longitud de maniobra no supere el 1,5 m, además el diámetro mínimo de los testigos debe ser 48 mm. (5)

La medida de la longitud del trozo del testigo se lo hace sobre el eje central y se considera los fragmentos que tiene diámetro completo. Además, previamente se debe realizar una distinción entre suelos y rocas, debido a que un suelo puede ser un coluvial, aluvial, residual, etc. Y estos no deben ser considerados para el cálculo del RQD. (5)

- **Cálculo del RQD**

Para el cálculo del RQD se toma en cuenta sólo los fragmentos o trozos de testigo de material rocoso fresco, se excluyen los que tienen grado de alteración y meteorización avanzada (a partir de grado IV), para los que se considera un  $RQD = 0 \%$ . (5)

Se debe medir la longitud de los fragmentos frescos mayores o iguales a 10 centímetros (100 mm), posteriormente se suma la longitud total de los fragmentos. (5)

Solo aquellas piezas de roca formadas por fracturas naturales (es decir, uniones, zonas de cizalla, planos de estratificación o planos de división que da como resultado superficies de separación) se considerarán para la estimación del RQD. (5)

Las piezas del núcleo a cada lado de los saltos de núcleo causado por el proceso de perforación se consideran como fragmentos juntos y se cuentan como una sola pieza. (5)

- **Fórmulas para el cálculo del RQD**

**a) Primer procedimiento RQD**

Se realiza tomando las medidas y sumando el largo de todos los trozos de testigo mayores que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m, a partir de los testigos obtenidos en el sondeo. Medida del RQD en testigos de exploración 150.

Deberán incluirse los discos del núcleo ocasionados por rompimiento mecánico de la roca como parte del RQD.

El índice RQD se define como el siguiente cociente:

$$\text{RQD} = (\text{Suma de } l_{10}) / l_{\text{tot}} * 100\%$$

Donde

(Suma de  $l_{10}$ ) = Suma de la longitud de los testigos superiores a 10 cm

$l_{\text{tot}}$  = Longitud total del sondeo

**b) Segundo procedimiento RQD**

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*Detail line*) en el área o zona predeterminada de la operación minera.

RQD Determinado en el campo por el área de Geotecnia, en un tramo longitudinal de pared expuesta.

Priest y Hudson, 1976

$$\text{RQD} = 100e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1)$$

Donde:  $\lambda$  = Nro. De Fisuras / Espacio (Span).

**c) Tercer procedimiento RQD**

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$  = Joint Volumétric number), determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (*Detail line*) en el área o zona predeterminada de la operación minera.

Comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico al realizar el levantamiento litológico estructural de las paredes de la mina, este se usa para voladura:  $\text{RQD} = 115 - (3.3) J_v$



Donde:  $J_v$  = número de fisuras por metro cúbico.

Nota: El  $J_v$  se calcula sumando el número de fisuras por metro que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario en el cuerpo rocoso materia de análisis. No se debe contar una fisura en más de un eje, por ejemplo, si una fisura corta al eje x y al eje y, la contaremos bien en el eje x o en el eje y, pero no en ambos. Para tener una mayor precisión, mediremos una longitud adecuada en cada eje y luego hallaremos el número de fisuras en un solo metro, haciendo una regla de 3 simple.

Así tendremos:

$$J_v (\text{eje}) = (\# \text{ de fisuras} / \text{longitud del eje})$$

$$J_v = J_{vx} + J_{vy} + J_{vz}$$

y finalmente:

$$RQD = 115 - (3.3) J_v$$

**Tabla 1. Designación de calidad de la roca y su RQD**

Calidad de la roca	Calificación	RQD (%)
Muy mala (roca completamente meteorizada)	I	<25%
Mala (roca meteorizada)	II	25 a 50%
Media (Roca levemente meteorizada)	III	51 a 75%
Buena (Roca dura)	IV	76 a 90%
Muy buena (Roca fresca o intacta)	V	91 a 100%

*Tomado de Geologiaweb*

- **Usos de la designación de calidad de roca (RQD) en la construcción**

Actualmente el RQD se usa como parámetro estándar en el registro de núcleos de perforación y forma un elemento básico de varios sistemas de clasificación de macizos rocosos, su aplicación es simple y permite delinear zonas de roca de mala calidad que podrían afectar negativamente las estructuras de ingeniería civil. (5)

Los valores RQD proporcionan una base para tomar decisiones preliminares de diseño que implican la estimación de las profundidades de excavación requeridas para los cimientos de las estructuras. (5)

Los valores RQD también pueden servir para identificar problemas potenciales relacionados con el asentamiento, erosión o deslizamiento en cimientos de roca.

El RQD puede proporcionar una indicación de la calidad de la roca en canteras para agregado de concreto, relleno rocoso o relleno de escombros.

El RQD ha sido ampliamente utilizado como un indicador de advertencia de zonas rocosas de baja calidad que pueden necesitar un mayor escrutinio o requieren perforaciones adicionales u otro trabajo de investigación.

Es un componente básico de muchos sistemas de clasificación de masa rocosa para fines de ingeniería.

- **Usos en la ingeniería de minas**

Es usado para determinar la calidad de la roca en zonas donde se vayan a construir labores mineras como por ejemplo túneles, chimeneas, piques, etc. Que van a servir para la extracción de minerales y la movilización del personal en la mina. También sirve para diseñar el ángulo del talud y el ancho de las plataformas en minas a cielo abierto. (5)

## **2.2.7 Clasificación geomecánica de Bieniawski RMR 2014**

### **A) Introducción**

El sistema Rock Mass Rating (RMR) es una referencia mundial para clasificar geomecánicamente el macizo rocoso. (6)

Desarrollado inicialmente por Bieniawski en 1973, posteriormente, actualizado en 1989, el sistema RMR ha sido nuevamente actualizado en 2014, modificando los criterios de valoración e incorporando el efecto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua, el cual ofrece un enfoque más acertado para calificar el macizo rocoso.

Geo control (2000) realizó una modificación al sistema RMR89, la cual

consistió en la sustitución de la valoración del RQD y del espaciado de discontinuidades por la valoración del número de juntas por metro en el frente y una ampliación de los criterios de valoración de las características de las discontinuidades, ello implicó la eliminación de las dificultades para calcular el RQD en los frentes de la excavación y mejora de la valoración del estado de juntas en el macizo rocoso.

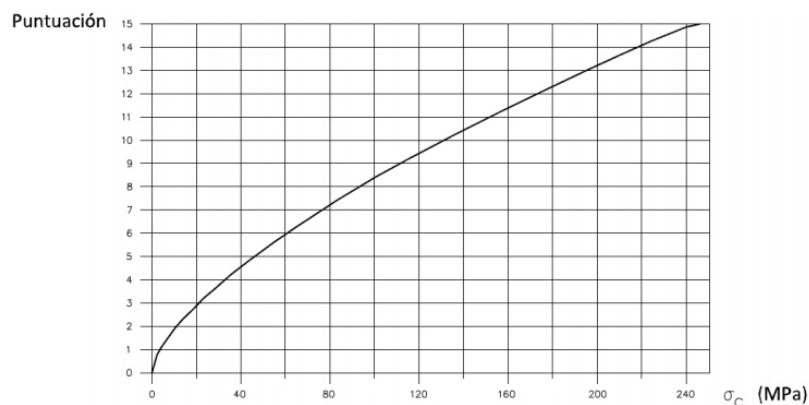
## B) Estructura del sistema RMR14

La estructura del RMR14 o RMR actualizado se basa en cinco parámetros, de los cuales se mantienen constantes las valoraciones de tres de los parámetros de los establecidos en el RMR89: la resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta, número de juntas por metro y efecto del agua. Los dos nuevos parámetros que se incluyen en el RMR14 son: la resistencia de las discontinuidades y la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua.

Mediante este nuevo sistema, los parámetros RQD y espaciado de juntas, aparentemente han dejado de ser considerados en la valoración del RMR14, por ello, es necesario aclarar que estos han sido englobados dentro del parámetro número de juntas por metro; mientras que el parámetro que el parámetro de alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua ofrece un enfoque más completo y acertado para la calificación del macizo rocoso.

## C) Parámetros del sistema de clasificación RMR de Bieniawski (2014)

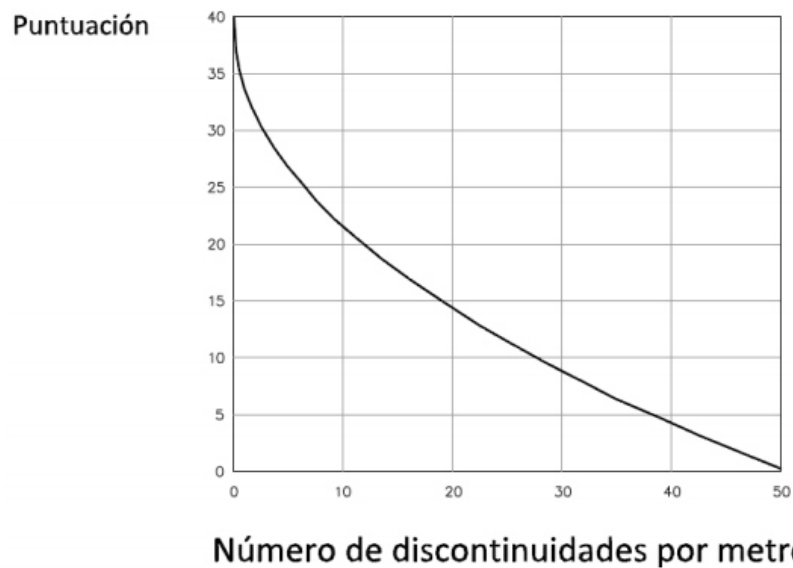
### 1. Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta



**Figura 16. Gráfico para la puntuación de la resistencia a la compresión simple de la roca intacta ( $\sigma_c$ )**

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

## 2. Número de juntas por metro



**Figura 17. Gráfico para la puntuación del número de discontinuidades por metro**  
**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

## 3. Efecto del agua

**Tabla 2. Valoración del a presencia de agua en el frente**

Estado del macizo rocoso	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Flujo de agua
Valoración	15	10	7	4	0

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

## 4. Resistencia de las discontinuidades

Este parámetro es valorado considerando los siguientes aspectos: continuidad de juntas, rugosidad de las juntas (mediante el coeficiente JRC), tipo de relleno en las juntas y grado de meteorización. La siguiente tabla, que se deriva de la Guidelines for Classification of Discontinuity Conditions, Bieniawski (1989), muestra los criterios de valoración de los cuatro aspectos mencionados anteriormente:

**Tabla 3. Criterios para la valoración de la resistencia de discontinuidades**

Continuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	> 10 m
	5	4	2	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Suave	Superficies de deslizamiento
	5	3	1	0
Relleno	Duro		Blando	
	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	5	2	2	0
Alteración	Sin alteración	Poco alterado	Muy alterado	Descompuesto
	5	3	1	0

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

## 5. Alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua

Este parámetro se evalúa mediante los resultados de ensayos de Slake Durability Test, el cual permite obtener el índice  $I_{d2}$ . La siguiente tabla muestra los criterios de valoración de este parámetro en base al índice  $I_{d2}$ .

**Tabla 4. Criterios para la valoración de la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua**

Alterabilidad $I_{d2}$ (%)			
< 85	60 – 85	30 – 60	< 30
10	8	4	0

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

## D) Parámetros de corrección

El sistema  $RMR_{14}$  ha realizado cambios a los criterios del  $RMR_b$  añadiendo dos nuevos factores de corrección, de tal manera que el  $RMR_{14}$  se corrige de la siguiente manera:

$$RMR_{14} = (RMR_b + F_0) * F_e * F_s$$

Donde:

- $RMR_b$ :  $RMR$  básico del macizo rocoso sin ajuste por orientación
- $F_0$ : Factor de orientación del túnel respecto a la familia de discontinuidades más importante

- $F_e$ : Factor que considera el mejor comportamiento del macizo rocoso cuando se excava con tuneladoras
- $F_s$ : Factor que considera el efecto de plastificación del macizo rocoso en el frente del túnel

## 1. Orientación del eje del túnel ( $F_0$ )

El sistema de RMR14 propone que se siga empleando el criterio de ajuste por orientación del eje del túnel establecido en el sistema de clasificación RMR<sub>89</sub>.

**Tabla 5. Ajuste por orientación del túnel respecto a las discontinuidades principales**

Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel		Buzamiento 0 – 20 independiente del rumbo
Avance con el buzamiento		Avance en contra del buzamiento				
Dip 45 – 90	Dip 20 – 45	Dip 45 – 90	Dip 20 – 45	Dip 45 – 90	Dip 20 – 45	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Regular
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

## 2. Excavación mediante tuneladoras ( $F_e$ )

El efecto de excavaciones mediante medios mecánicos fue investigado por Alber (1993), actualizado por Bieniawski (2011) y complementado por Geocontrol. De tal manera que, se estableció una nueva correlación entre los valores de RMR y RMRTBM, la cual se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Correlación entre el RMR y  $RMR_{TBM}$**

RMR	20	40	60	80
$RMR_{TBM}$	21	53	70	85
$\frac{RMR_{TBM}}{RMR}$	1.05	1.32	1.16	1.06

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

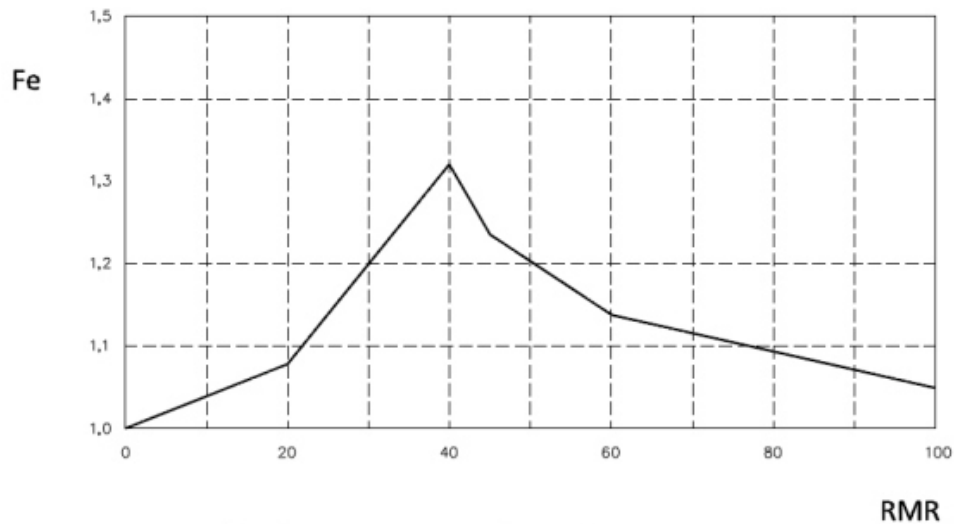
En base a lo anterior, el factor de corrección  $F_e$  es determinado de la siguiente manera:

Para  $RMR < 40$ :

- $F_e = 1 + 2 * (RMR / 100)^2$

Para  $RMR > 40$ :

- $F_e = 1.32 - (RMR - 40)^{1/2} / 25$



**Cálculo Fe en función del RMR**

*Figura 18. Cálculo de Fe en función del RMR*

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

### 3. Influencia de la plasticidad del frente ( $F_s$ )

La fracturación del macizo rocoso en el frente de un túnel es producto de la combinación de la fracturación natural y la inducida por efecto de la plastificación del frente. Por tal motivo, es necesario establecer un factor que considere la plastificación de un frente. Para el cálculo de este nuevo factor de corrección  $F_s$ , es necesario establecer el Índice de Comportamiento Elástico (ICE), propuesto por Bieniawski y Celada (2011), el cual se define de la siguiente manera:

$$\text{Para } K_0 \leq 1: \quad ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3-K_0) * H} * f$$

$$\text{Para } K_0 \geq 1: \quad ICE = \frac{3704 * \sigma_{ci} * e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3K_0-1) * H} * f$$

Donde:

$\sigma_{ci}$ : Resistencia a compresión uniaxial de la roca intacta (MPa)

$K_0$ : Coeficiente de reparto de los esfuerzos naturales

$H$ : Profundidad a la que se encuentra el frente del túnel (m)  $f$ : Factor de forma del túnel, definido en la siguiente tabla

**Tabla 7. Valores del factor de forma**

Tipo de excavación subterránea	$f$
Túnel circular de 6 m de diámetro	1.3
Túnel circular de 10 m de diámetro	1.0
Túnel convencional de 14 m de anchura	0.75
Cavernas (25 m de ancho x 60 m de alto)	0.55

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

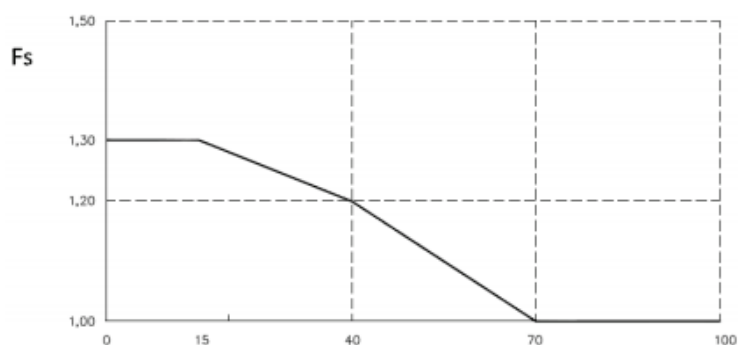
El ICE permite predecir el comportamiento tenso deformacional de los frentes de los túneles, para ello los clasifica en cinco categorías, las cuales se detallan a continuación:

**Tabla 8. Clasificación de la plastificación de túneles en base al ICE**

ICE	Comportamiento del frente del túnel
> 130	Completamente elástico
70 – 130	Elástico con incipiente plastificación
40 – 69	Moderadamente plastificado
15 – 39	Intensamente plastificado
< 15	Totalmente plastificado

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

En base a lo anterior, se puede determinar que únicamente los frentes de excavaciones con ICE



**Figura 19. Valores de  $F_s$  en función del ICE**

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**



Asimismo, la gráfica anterior puede ser representada mediante las siguientes fórmulas:

- $ICE < 15$

$$F_s = 1.3$$

- $15 < ICE < 70$ :

$$F_s = 1.3 - 0.6 * (ICE/100)^2$$

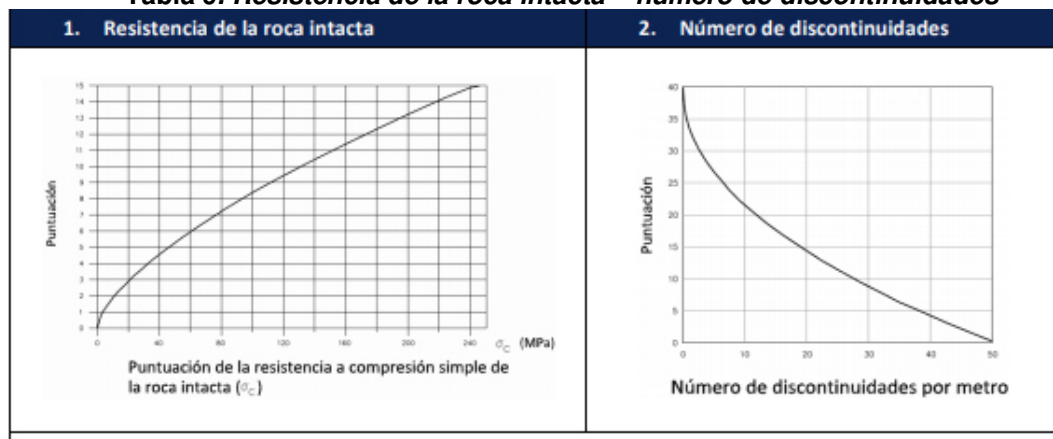
- $ICE > 70$ :

$$F_s = 1.0$$

### E) Cálculo del $RMR_{14}$

A continuación, se presenta las tablas para determinar el valor de  $RMR_{14}$  básico mediante la valoración de los cinco parámetros que la conforman, y la tabla para determinar los factores de corrección por orientación del eje del túnel, influencia de la plastificación del frente ni el factor por posible excavación con tuneladoras

**Tabla 9. Resistencia de la roca intacta – número de discontinuidades**



*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

**Tabla 10 Condiciones de discontinuidades, presencia de agua y alterabilidad**

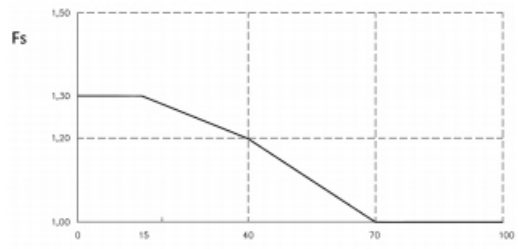
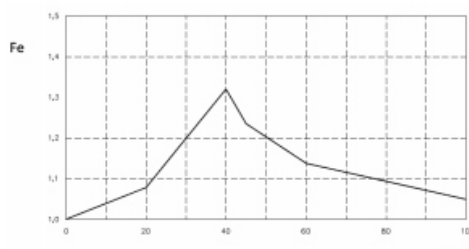
3. Condición de discontinuidades					
Continuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	> 10 m	
	5	4	2	0	
Rugosidad	Muy rugoso	Rugoso	Liso	Espejo de falla	
	5	3	1	0	
Relleno de falla	Duro		Suave		
	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm	
	5	2	2	0	
Alteración	Inalterada	Moderadamente alterada	Altamente alterada	Descompuesta	
	5	3	1	0	
4. Presencia de agua					
Estado del macizo	Seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Flujo de agua
Valoración	15	10	7	4	0
5. Alterabilidad					
Alterabilidad I <sub>d2</sub> (%)					
> 85	60 – 85	30 – 60	< 30		
10	8	4	0		

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

**Tabla 11 Factores de corrección**

Factores de corrección							
1. $F_0$ Dirección del eje del túnel respecto a la dirección de la familia principal de discontinuidades							
Perpendicular				Paralela		Inclinación de discontinuidades	
Avance a favor de la inclinación		Avance en contra de la inclinación		Inclinación (°)			
45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	45° – 90°	20° – 45°	Menor a 20°	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5	

2. $F_s$ Plastificación en el frente		3. $F_e$ Excavación con tuneladoras	
 <p>Valores de <math>F_s</math> en función del ICE</p>		 <p>Cálculo <math>F_e</math> en función del RMR</p>	

*Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe*

## Correlación entre RMR<sub>89</sub> y RMR<sub>14</sub>

Se ha establecido una correlación entre e RMR<sub>89</sub> y RMR<sub>14</sub>, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$RMR_{14} = 1.1 * RMR_{89} + 2$$

## F) Sostenimiento para el RMR<sub>14</sub>

**Tabla 12. Sostenimiento para el RMR<sub>14</sub>**

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm) de Soporte con diámetro, inyectados. concreto armado	Costillas
I. Roca muy Buena, RMR: 81- 100	A sección completa. 3 m. de avance.	Generalmente no se requiere.	Ninguno
II. Roca Buena, RMR: 61 – 80	A sección completa 1- 1.5 m de avance. Soporte completo a 20 m del frente.	Pernos en la corona de 3 m. de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 – 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4m de longitud, espaciados 1.5-2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados Ninguno
IV. Roca Pobre, RMR: 21 – 40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4- 5 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR:< 20	Múltiples galerías 0.5- 1.5 m. de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 m. de longitud, espaciados 1- 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

## G) macizo rocoso con relación al índice RMR

**Tabla 13. Macizo rocoso al índice RMR**

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80-61	3 – 4 kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60-41	2 – 3 kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 – 2 kg/cm <sup>2</sup>	15°- 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	<15°

**Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

### 2.3 Definición de términos básicos

- **Anisotropía**

La característica de anisotropía ocurre por la presencia de discontinuidades (planos de debilidad) con orientación preferencial (estratificación, clivaje, foliación, laminación, familias de diaclasas tectónicas), las discontinuidades generan diferente comportamiento mecánico en el macizo rocoso en función de la dirección considerada (rumbo, buzamiento).

- **Buzamiento**

Es el ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal, y debe ir acompañado por el sentido en el que el plano buza o baja.

- **Caracterización geomecánica**

Permite evitar y/o disminuir los incidentes/accidentes por caída de rocas, utilizando las herramientas, a fin de controlar la estabilidad de rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa.

- **Discontinuidades geológicas:**

Son superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc. las que cambian la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, lo que confiere al macizo rocoso un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo.

- **Macizo rocoso:**

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica.

- **La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR:**

Fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema consiste de una metodología de clasificación de macizos rocosos que permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento.

- **La clasificación Q:**

Fue desarrollada en 1974 por Barton, Lunde y Lien a partir de la información de numerosos túneles. Esta clasificación geomecánica permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas.

- **Roca intacta:**

Son trozos de roca que se ubican entre las estructuras presentes en el macizo rocoso.

- **RQD:**

El índice RQD (Rock Quality Designation) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo

- **Rumbo:**

Es la dirección considerada en el plano del horizonte y, principalmente, cualquiera de las comprendidas en el meridiano. Precisamente la palabra procede del latín *rhombus* ('rombo'), que son las formas geométricas que unidas señalan las diferentes direcciones posibles en la rosa de los vientos.

- **Sostenimiento de las labores:**

Es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes al personal y al equipo.

- **Sostenimiento activo:**

Este tipo de sostenimiento tiene las siguientes características: ejerce esfuerzos predeterminados a la superficie del macizo rocoso, asimilando presiones ocasionadas por el terreno y su instalación es rápida, aumentando la productividad y haciendo la operación más segura.

- **Sostenimiento pasivo:**

Los sistemas de sostenimiento pasivo, como los pilares de madera y los soportes de galería, en que los elementos de sostenimiento se instalan entre el techo y el suelo. Control de superficies, por otro lado, se refiere a las técnicas como la instalación de mallas diseñadas para prevenir el descascaramiento o desprendimiento de roca de la superficie inmediata del techo o los pilares de seguridad

## **2.4. Unidad minera Poderosa**

### **2.4.1. Generalidades**

Compañía minera Poderosa S. A. se divide en dos unidades económicamente activas: UEA La Libertad y la UEA Poderosa de, ubicada en la Provincia de Pataz, a 160 km de Trujillo, la propiedad cubre 83900 hectáreas que comprende 147 concesiones mineras y 3 concesiones de beneficio. Se desarrolla una minería subterránea que explota oro. Las vetas de sulfuros con cuarzos tienen dimensiones de varios kilómetros en extensión horizontal, y cientos de metros verticales. (7)

### **A) Ubicación del área de estudio**

Geográficamente se encuentra ubicada en el flanco nororiental de la cordillera de los Andes, emplazada en el Batolito de Pataz, en el margen derecho del Río Marañón contando con los siguientes límites:

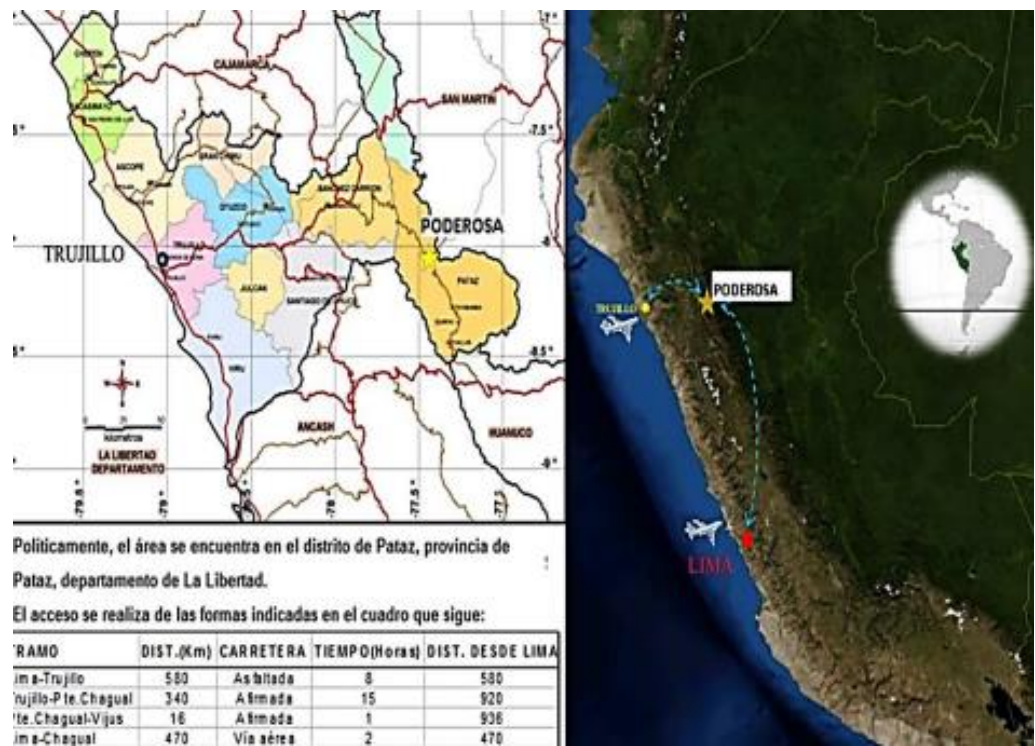
Este: Con el departamento de San Martín.  
 Oeste: Con la provincia de Sánchez Carrión.  
 Norte: Con la provincia de Bolívar.  
 Sur: Con la provincia de Pataz.

**B) Acceso**

**Tabla 14. Accesibilidad de Cía. minera Poderosa**

Tramo	Distancia (km)	Carretera	Tiempo (horas)	Distancia de Lima
Lima a Trujillo	580	Asfaltada	8	580
Trujillo - Puente Chagual	340	Asfaltada	15	920
Puente Chagual - Vijus	16	Asfaltada	1	936
Lima a Chagual	470	Vía aérea	2	470

*Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.*



**Figura 20. Plano de ubicación de Cía. minera Poderosa**  
*Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.*

### **C)Clima y relieve**

El área de la mina presenta un clima es cálido a templado, variando en el transcurso del año y por la altitud, llegando en las zonas bajas hasta 35 °C, y en las zonas altas hasta 10°C; los meses de enero, febrero y marzo son en los que se presentan las precipitaciones fluviales, siendo en el flanco Este donde se reciben abundantes lluvias, provenientes de la cuenca amazónica, por lo que se desarrolla una abundante vegetación hasta los 2500 m.s.n.m., a partir de esta altitud y bordeando las cumbres de la Cordillera en dirección Oeste, se tiene un clima frío, por lo que la vegetación es menor.

El Relieve es muy accidentado, con fuertes pendientes, modeladas por el tectonismo y la erosión fluvial y eólica, formando profundos valles que se alternan con picos elevados, creando desniveles que varían entre los 1200 a 2800 m.s.n.m. en el flanco oriental y entre 1200 a 4200 m.s.n.m. en el flanco occidental.

En la región, algunos valles presentan terrazas de planicies, regularmente extensas, cuyos terrenos son utilizados para la agricultura.

### **2.4.2. Geología**

#### **A)Geología regional**

La geología de la zona de Pataz está compuesta por diferentes series de basamento con metamorfismo de bajo grado del Proterozoico y Paleozoico inferior a terciario inferior con rocas Vulcano - clásticas casi sin deformar el terciario superior.

Este basamento está incluido dentro del Batolito de Pataz a lo largo de toda la zona fracturada. La formación del Batolito es de la edad Paleozoico de alrededor de 300 millones de años del carbonífero superior.

El Batolito de Pataz contiene vetas de cuarzo-pirita, donde se encuentra normalmente el oro, asociado a la pirita y en pequeñas proporciones asociado a la galena y esfalerita.



El Batolito está controlado por dos grandes fallas regionales una al Nor - Este que la pone en contacto con el complejo Marañón, formadas por pizarras que corresponden a la formación Contaya, metamorfismo con presencia de piritita fina, la otra falla regional se ubica al Sur-Oeste pone al contacto con rocas del Paleozoico y Mesozoico de la formación Chota. Dicho Batolito tiene una dirección de N 30° W, controlado con cizallas marginales y cabalgamiento de geometría lística.

## **B) Geología local**

### **• Estratigrafía**

La columna estratigráfica de la zona de Pataz, muestra rocas que van desde el precámbrico hasta el cuaternario, este último poco desarrollado en la zona. Como parte de la columna estratigráfica tenemos:

#### **Complejo Marañón:**

Secuencia estratigráfica de aproximadamente 2000 m de potencia conformado por filitas, hornfels y metavolcánicos, su edad se atribuye al precámbrico.

#### **Rocas Intrusivas:**

Lo constituye el batolito de Pataz, de forma alargada y lenticular de 80 km de largo, con una orientación N 20°-30° W y que alberga a las estructuras mineralizadas de la región, conformado por granitos, granodioritas y dioritas.

#### **Cuaternario:**

Conformado por depósitos aluviales, pie de monte y fluvioglaciares, observando por encima de los 3500 m s. n, m.

## **C) Geología estructural**

En el Batolito de Pataz los rasgos más importantes son los fallamientos y en este distrito hay tres etapas estructurales que están bien definidos:

- La primera etapa pre - mineral.
- La segunda etapa coetánea con la mineralización.
- La tercera etapa post – mineral.

Como resultado del primer periodo se formarían las fallas, que se mineralizaron posteriormente con rumbos N 10° W a N 35° W, con buzamientos 45 – 69° NE predominantemente, y que son formados a partir de fallas más antiguas y complejas, estos son fallas de tipo inversas siniéstrales.

Las fallas preminerales son importantes porque cerca de ellos se emplazan los clavos mineralizados y controlan la posición de los yacimientos.

#### **D) Estructuras mineralizadas**

La mina Santa María aloja distintas vetas: Virginia, San Vicente, Guadalupe, Julie, Briana y Samy. Las mismas que se vienen explotando.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.4. Método y alcance de la investigación**

##### **3.4.1. Método general**

El método general de la investigación es el científico, ya que su finalidad es interpretar hechos para buscar el camino y encontrar la solución al problema planteado.

##### **3.4.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, debido a que en una primera instancia se aplican los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema del incumplimiento de las metas programadas.

##### **3.4.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es explicativo, el propósito consiste en explicar los resultados de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para explotar el tajo en forma segura y cumpliendo el aporte de tonelaje programado por la compañía minera Poderosa.

#### **3.5. Diseño de la investigación**

El trabajo de investigación es experimental y de corte longitudinal, debido que la variable independiente será manipulada para encontrar el efecto en la variable dependiente del problema para la explotación del tajo

### **3.6. Población y muestra**

#### **3.6.1. Población**

La población los tajos del nivel 2910 de la compañía minera Poderosa.

#### **3.6.2. Muestra**

La muestra no probabilística y por consiguiente no aleatoria está conformada por el tajo 6380 Nv.2910 de la compañía minera Poderosa.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnicas de recolección de datos**

- Observación
- Entrevistas
- La encuesta
- Análisis documental

#### **3.7.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Guía de observación de campo
- Entrevista focalizada
- Encuesta personal
- Fichero de registros

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información**

##### **4.1.1 Aspectos litológicos**

De la información de mapeos geotécnicos (registro de taladros de perforación diamantina) y de las observaciones en campo, el cuerpo mineralizado Mascota tiene una orientación NW-SE siendo la roca encajonante caliza.

##### **4.1.2 Clasificación de la masa rocosa.**

Es la fase inicial de todo estudio geotécnico que implica la descripción de las características particulares de la roca y de la masa rocosa, el cual permite determinar el comportamiento mecánico del material de contorno. Asimismo, esta investigación asocia un registro de datos a partir del mapeo geotécnico del laboreo minero, que se llevó a cabo utilizando la clasificación geomecánica RMR. Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (EM), el cual se indica en la siguiente tabla.

Tabla 15. Clasificación de la masa rocosa Roca caliza – Tajo 6380 (RMR)

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) - ROCA CALIZA TAJO 6380											
CLASIFICACION DE BIENIASWSKI (1989)											
PARAMETRO		RANGO DE VALORES									VALORACION
		VALOR ESTIMADO									
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)	
RQD %		90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0,6-2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)		< 0.06 (5)	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)		1-3 m Long. (4)		3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	
	APERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)		1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)		Lisa (1)		Espejo de falla (0)	
	RELLENO	Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm (0)	
	INTEMPERIZA.	Sana (6)		Lig. Intempe. (5)		Mod.Intempe. (3)		Muy Intempe. (2)		Descompuesta (0)	
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)		Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)		Favorable (-2)		Regular (-5)		Desfavorable (-10)		Muy Desfav (-12)	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6 ) =											55
CLASE DE MACIZO ROCOSO											
RMR	100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0		
DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA		

Valoración total RMR = 55 puntos

RMR = 41 – 60 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso = III Regular

Tabla 16. Clasificación de la masa rocosa Roca intrusivo – Tajo 6380 (RMR)

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) - ROCA INTRUSIVO TAJO 6380									
CLASIFICACION DE BIENIASWSKI (1989)									
PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACION	
		VALOR ESTIMADO							
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)			
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)			
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)			
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)			
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)			
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)			
	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)			
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)			
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)			
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6 ) =							40		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			
DESCRIPCION		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			

Valoración total RMR = 40 puntos

RMR = 21 – 40 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso = IV Mala

Tabla 17. Clasificación de la masa rocosa óxido – Tajo 6380 (RMR)

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) - ÓXIDO - TAJO 6380								
CLASIFICACION DE BIENIASWSKI (1989)								
PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACION
		VALOR ESTIMADO						
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)		
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)		
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)		
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)		
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)		
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)		
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)		
	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)		
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)		
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6 ) =							50	
CLASE DE MACIZO ROCOSO								
RMR	100 - 81		80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0		
DESCRIPCION	I MUY BUENA		II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA		

Valoración total RMR = 50 puntos

RMR = 41 – 60 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso = III Regular



Tabla 18. Clasificación de la masa rocosa Min. Polimetálico – Tajo 6380 (RMR)

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) - MIN. POLIMETÁLICO - TAJO 6380									
CLASIFICACION DE BIENIASWSKI (1989)									
PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACION	
		VALOR ESTIMADO							
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)			
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)			
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)			
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)			
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)			
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)			
	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)			
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)			
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)			
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6 ) =							40		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Valoración total RMR = 40 puntos

RMR = 21 – 40 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso = IV Mala

Tabla 19. Clasificación de la masa rocosa Min. cobre – Tajo 6380 (RMR)

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.) - MIN. COBRE - TAJO 6380									
CLASIFICACION DE BIENIASWSKI (1989)									
PARAMETRO		RANGO DE VALORES						VALORACION	
		VALOR ESTIMADO							
R. COMPRE. UNIAxIAL (Mpa)		>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)			
RQD %		90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)			
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)			
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)			
	APERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)			
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)			
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)			
	INTEMPERIZA.	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod.Intempe. (3)	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)			
AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)			
AJUSTE POR ORIENTACION		Muy Favorb. (0)	Favorable (-2)	Regular (-5)	Desfavorable (-10)	Muy Desfav (-12)			
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 6 ) =							35		
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0				
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Valoración total RMR = 35 puntos

RMR = 21 – 40 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso = IV Mala

PODEROSA		CARTILLA GEOMECÁNICA			
		LABORES DE EXPLOTACIÓN Y AVANCES			
Indice de Resistencia Geológica (GSI)		Condición Superficial (Golpes de picota)			
		Se Rompe	Se Rompe	Se Rompe	Se Indenta
ESTRUCTURA Grado de fracturamiento		Con 3 o mas Golpes de Picota	Con 1 o 2 Golpes de Picota	Superficialmente con golpes de Picota	Mas de 5 mm.
Se basa en la cantidad de fracturas por metro cuadrado, medidos insitu con flexometro.		B	R	P	MP
		Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre
Condición Estructural - Fracturas/m <sup>2</sup>	2 a 5 LF Levemente Fracturada	A LF/B	B LF/R	-	-
	6 a 11 F Moderadamente Fracturada	B F/B	B F/R	C F/P	-
	12 a 20 MF Muy Fracturada	B MF/B	C MF/R	D MF/P	E MF/MP
	>20 IF Intensamente Fracturada	-	D IF/R	E IF/P	F IF/MP

TIPOS DE SOSTENIMIENTOS LABORES DE EXPLOTACION (TEMPORAL) U.P. SANTA MARIA			
Parámetros Geomecánicos		ANCHO DE MINADO > 2.40 M	ANCHO DE MINADO < 2.40 M
CALIDAD	RMR		
A	81 - 100	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.80 m	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.80 m en las cajas + split set espaciado a 1.80 m en zona mineralizada
B	61 - 80	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.50 m	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.50 m en las cajas + split set espaciado a 1.50 m en zona mineralizada
C	51 - 60	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.50 m	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.30 m en las cajas + split set espaciado a 1.50 m en zona mineralizada
D	41 - 50	RS Bolt sistemático espaciado a 1.20 m + malla electrosoldada	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.00 m en las cajas con guarda cabeza
E	21 - 40	Cuadros de madera espaciados a 1.50 m guarda cabeza en dirección al minado	Cuadros de madera espaciados a 1.50 m guarda cabeza en dirección al minado
F	<20	Cuadros de madera espaciados a 1.20 m guarda cabeza	Cuadros de madera espaciados a 1.20 m guarda cabeza en dirección al minado

ELECCIÓN DEL TIPO DE EXPLOSIVO			FACTORES INFLUYENTES	
TIPO DE ROCA	TAJO	AVANCE		
LF/B	Emulex 65	Anfo	Sin factores influyentes	> Condición de fractura
F/B LF/R		Emulex 100%		> Intersección de labores
F/R MF/R F/P	Emulex 65	Emulex 80%		> Relajamiento de rocas
	Semexa 65%	Emulex 65%		- Presencia de fallas
	Emulex 45%	Semexa 65%	> Orientación de disc.	
MF/R F/P	Emulex 45%	Emulex 45%	Con factores influyentes	> Corriente de agua
MF/P MF/MP IF/P	Exablock 45%			
IF/MP				

Figura 21. Tabla geomecánica (GSI) utilizada en la compañía minera Poderosa  
Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.

De acuerdo a los datos obtenidos por el muestreo geomecánico, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular Valoración total RMR = 35 puntos

RMR = 21 – 60 puntos

Descripción de la clase de macizo rocoso:

- Mala IV - <B
- Regular III - A

**Tabla 20. Resumen de la clasificación de la masa rocosa (RMR)**

Roca	UCS	RMR	GSI	mi
Caliza	100	55	50	27.23
Intrusivo	70	40	35	26.94
Óxido no económico	80	50	45	16.91
Min. Polimetálico	60	40	35	11.01
Min. Cobre	40	35	30	11.01

#### 4.2. Zonificación geomecánica







La técnica de zonificar la masa rocosa en dos dimensiones permite dividir en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que el análisis de los resultados y los criterios de diseño serán válidos solo dentro de masas rocosas que presentan propiedades físicas y mecánicas similares.

Según resultados obtenidos de la caracterización, presentan cinco dominios geomecánicos marcadamente diferenciados:

**Tabla 21. Calidad de la masa rocosa**

Roca	Calidad	RMR
Caliza	Regular III - A	55
Intrusivo	Mala IV - A	40
Óxido no económico	Regular III - B	50
Min. Polimetálico	Mala IV - A	40
Min. Cobre	Mala IV - <B	35

**Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.**

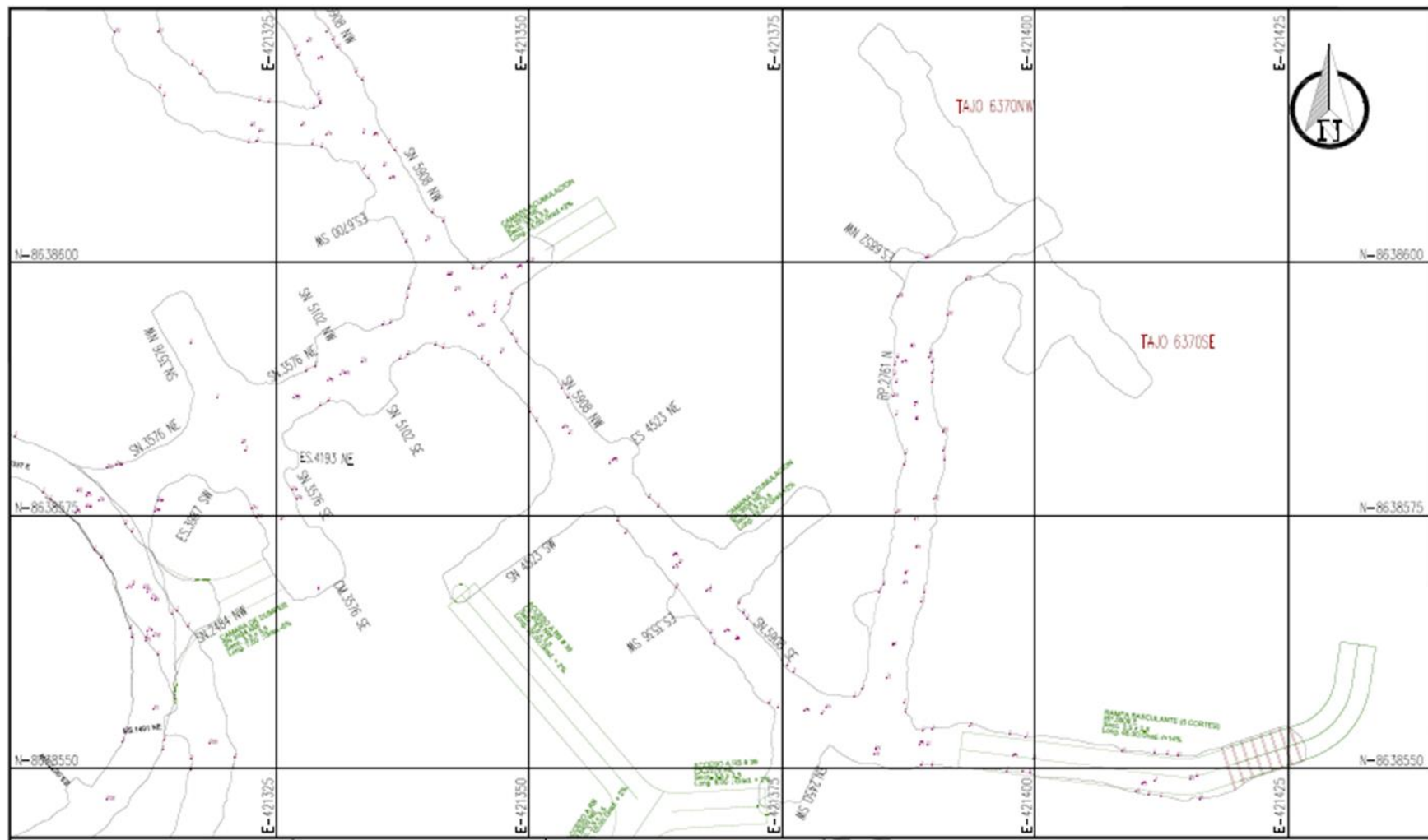
Categoría		RMR	Código de Colores	Descripción
I	I-A	91-100		Roca muy buena I-A
	I-B	81-90		Roca muy buena I-B
II	II-A	71-80		Roca buena II-A
	II-B	61-70		Roca buena II-B
III	III-A	51-60		Roca regular III-A
	III-B	41-50		Roca regular III-B
IV	IV-A	31-40		Roca mala IV-A
	IV-B	21-30		Roca mala IV-B
V	V-A	11-20		Roca muy mala V-A
	V-B	0-10		Roca muy mala V-B

**Figura 22. Simbología cromática por calidad de roca  
Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe**

De acuerdo a la clasificación geomecánica empleando la cartilla de Bieniawski, y su equivalencia con el GSI, se procede a la zonificación geomecánica del tajeo 6380; empleando la simbología cromática por calidad de roca, catalogándola la zonificación que se encuentra entre:

- Mala IV - <B
- Regular III – A

Para un mayor detalle la ubicación del proyecto de investigación, geología y la zonificación geomecánica se detalla en el siguiente gráfico.



**Figura 23. Plano de labores sin zonificación geomecánica del tajo 6380**  
**Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.**





## 4.2 Análisis de simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0

### 4.2.1 Condición estructural

Las características estructurales de la masa rocosa involucrada al área de estudio fueron establecidas a partir de la información registrada del laboreo minero existente y proyectado. Según esta información que implica la descripción de las características particulares de la roca y de la masa rocosa, permite determinar el comportamiento mecánico de la roca. Cabe indicar que en el presente corte (explotación del piso 7) los materiales geológicos están asociadas a un nivel de fracturamiento regular tanto en la litología de tipo caliza, caliza oxidada y mineral polimetálico.

### 4.2.2 Resistencia de la roca intacta

La resistencia de la roca intacta se define como el parámetro de resistencia a la compresión uniaxial no confinada de la roca intacta comprendida entre las discontinuidades adyacentes o el bloque de roca exenta de discontinuidades y se considera como uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa cuyos valores de resistencia son obtenidos mediante ensayos de campo haciendo uso el martillo de Schmidth.

**Tabla 22. Propiedades elásticas y de resistencia de la roca intacta**

Roca	UCS	mi	Ei (GPa)	P.E. (MN/m <sup>3</sup> )	Poisson
Caliza	100	27.23	13.98	50	0.36
Intrusivo	70	26.94	12.64	35	0.33
Óxido no económico	80	16.91	9.44	45	0.30
Min. Polimetálico	60	11.01	7.14	35	0.30
Min. Cobre	40	11.01	2.86	30	0.30

### 4.2.3 Propiedades de resistencia de la masa rocosa

Es necesario conocer bajo qué condiciones de carga el macizo rocoso perderá su capacidad de carga portante. No se puede diseñar y construir infraestructuras subterráneas sin conocer la resistencia de los materiales rocosos. Para realizar los cálculos de estabilidad, las propiedades de resistencia de la masa rocosa referidas a la compresión, tracción y parámetros de corte, son estimados según el criterio de falla de Hoek & Brown (1980), considerando la versión actualizada



de 1989 y los criterios modificatorios de 1992 (Hoek et al), a partir del conocimiento de la calidad de la masa, la resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta ( $\sigma_c$ ) y la constante “mi”.

Por otro lado, el módulo de deformación de la masa rocosa es estimado según la relación propuesta por Serafim & Pereira (1986).

**Tabla 23. Propiedades de resistencia de la masa rocosa**

Roca	RMR	GSI	mi	D	De (MN/m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	S	a	Poisson
Caliza	55	50	27.23	0.2	0.026	4378.73	0.0047	0.504	0.36
Intrusivo	40	35	26.94	0.2	0.026	3959.03	0.0047	0.504	0.33
Óxido no económico	50	45	16.91	0.2	0.026	1573.31	0.0014	0.508	0.30
Min. Polimetálico	50	45	11.01	0.2	0.029	1189.98	0.0014	0.508	0.30
Min. Cobre	35	30	11.01	0.2	0.032	179.27	0.0002	0.522	0.30

#### 4.2.4 Esfuerzos *insitu*

La calidad de la masa rocosa, expresada en términos de RMR corresponde a valores promedios. Los valores de densidad de la roca, corresponden a mediciones efectuadas en la operación minera. Los valores de las constantes “m” y “s” para condiciones no disturbadas (u) y disturbadas (d), serán calculadas mediante la aplicación del criterio de Hoek & Brown. El módulo de deformación E, se determinó aplicando el Criterio de Serafim & Pereira y la relación de Poisson  $\nu$  corresponde a valores típicos utilizados para estos tipos de rocas.

Los esfuerzos *insitu* se estiman utilizando el concepto de carga litostática, en el cual el esfuerzo vertical  $\sigma_v$  es calculado a partir del peso unitario de la roca sobreyacente “ $\gamma$ ” y la profundidad “z” debajo de la superficie, mediante la siguiente expresión. El esfuerzo horizontal  $\sigma_h$  es calculado por la relación, donde la constante k es determinada utilizando el criterio de Sheorey:

$$K = 0.25 + 7E_h * (0.001 + 1/z)$$

Donde:

k: Constante de Sheorey (1994)

z: Profundidad de la excavación (m).

$E_h$ : Módulo de deformación horizontal promedio de la masa rocosa (GPa)

**Tabla 24 Esfuerzos insitu del proyecto**

Parámetro	Magnitud
Cota de superficie	4650 m s. n. m.
Cota media de la excavación	3750 m s. n. m.
Profundidad de la excavación	900 m
Densidad de la roca	2.7 t/m <sup>3</sup>
Módulo de deformación ( $E_m$ )	4.38 GPa
Esfuerzo vertical ( $\sigma_v$ )	23.90 MPa
Constante k	0.31
Esfuerzo horizontal ( $\sigma_h$ )	7.52 MPa

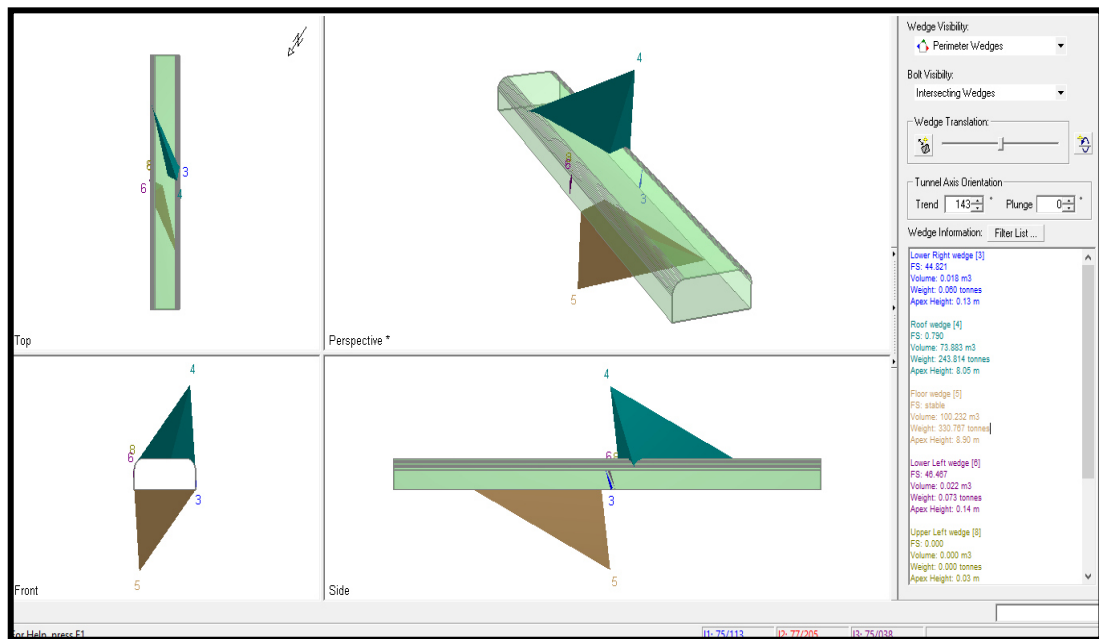
### 4.3 Estabilidad de la excavación

#### 4.3.1 Análisis de estabilidad controlada por estructuras

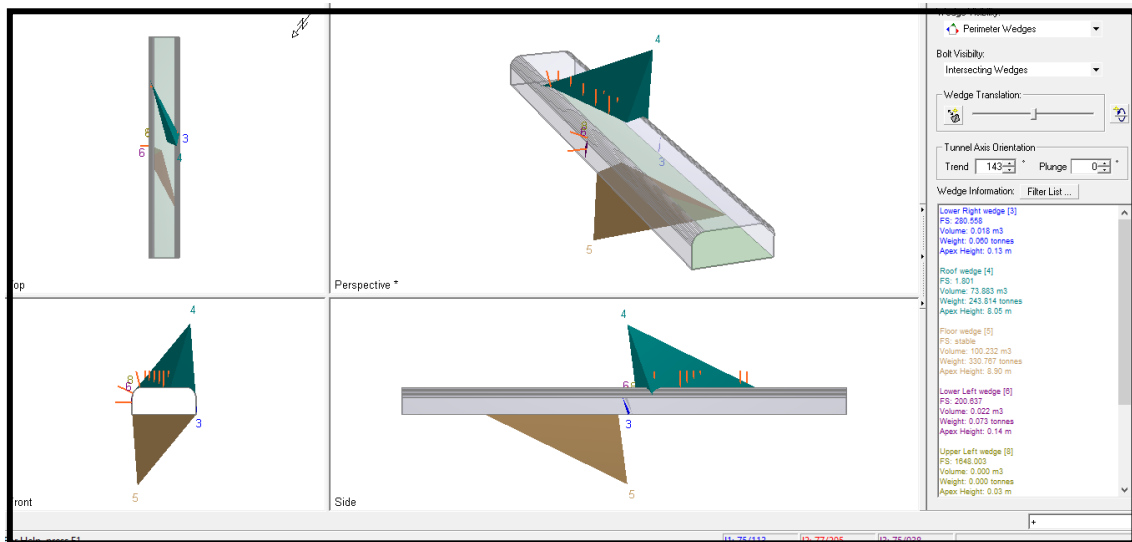
- **Herramienta de análisis empleado: Unwedge 3.0**

Tomando como base el arreglo estructural de la masa rocosa, las dimensiones de la excavación y su orientación con el uso de herramientas de cómputo en el análisis se ha podido calcular la estabilidad de las cuñas formadas en el contorno de la excavación. La herramienta de cálculo empleado ha sido el programa Unwedge versión 3.0 perteneciente Rocscience Inc. (2004), con el uso del programa se ha podido obtener una apreciación detallada de todas las cuñas con posibilidad de generar estabilidad en la excavación diseñada.

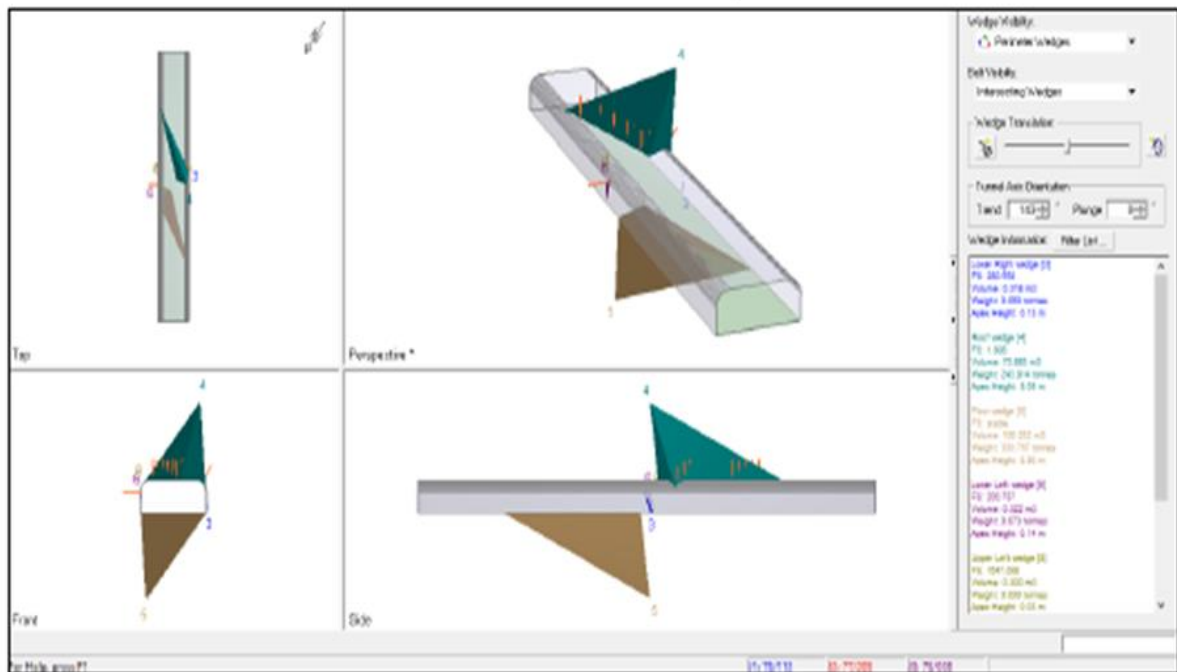
Las cuñas más significativas ubicadas en las labores mineras diseñadas son mostradas en el siguiente gráfico:



**Figura 25. Cuñas significativas inestables generadas entorno a la excavación Tj.6380**



**Figura 26. Cuñas significativas estabilizadas entorno a la excavación Tj.6380**



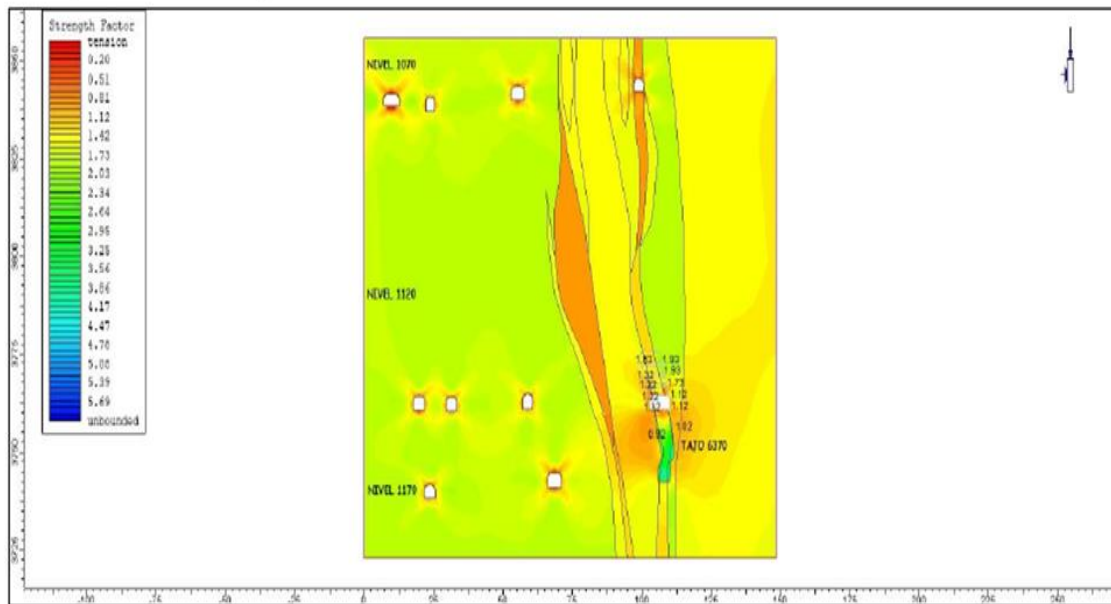
**Figura 27. Cuñas significativas estabilizadas entorno a la excavación Tj.6380**

Los sistemas de discontinuidades formadas entorno a la excavación generan cuñas inestables en la corona  $FS = 0.79$ , al ser aplicado el sostenimiento con shotcrete 2" + malla electrosoldada + splitset 7 pies (1.2 m x 0.85 m) + shotcrete 1" la cuña es estabilizada  $FS = 1.8$ .

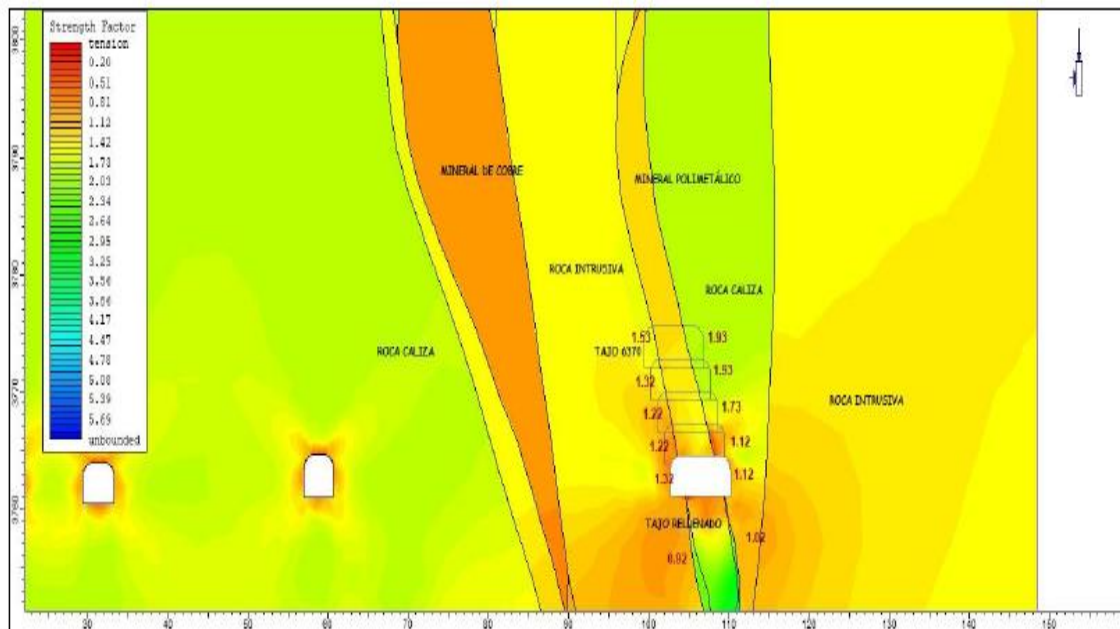
#### 4.3.2 Análisis de estabilidad controlada por esfuerzos

##### Herramienta de análisis empleado: Phase2 8.0

Para la verificación del análisis de estabilidad estructuralmente controlada y la alternativa del diseño propuesto se efectúa el modelamiento numérico utilizando el programa de cómputo Phase2 versión 8.0 perteneciente a Rocscience Inc. (2008). Este es un programa de elementos finitos elasto – plástico bidimensional para el cálculo de esfuerzos y desplazamientos alrededor de excavaciones subterráneas.

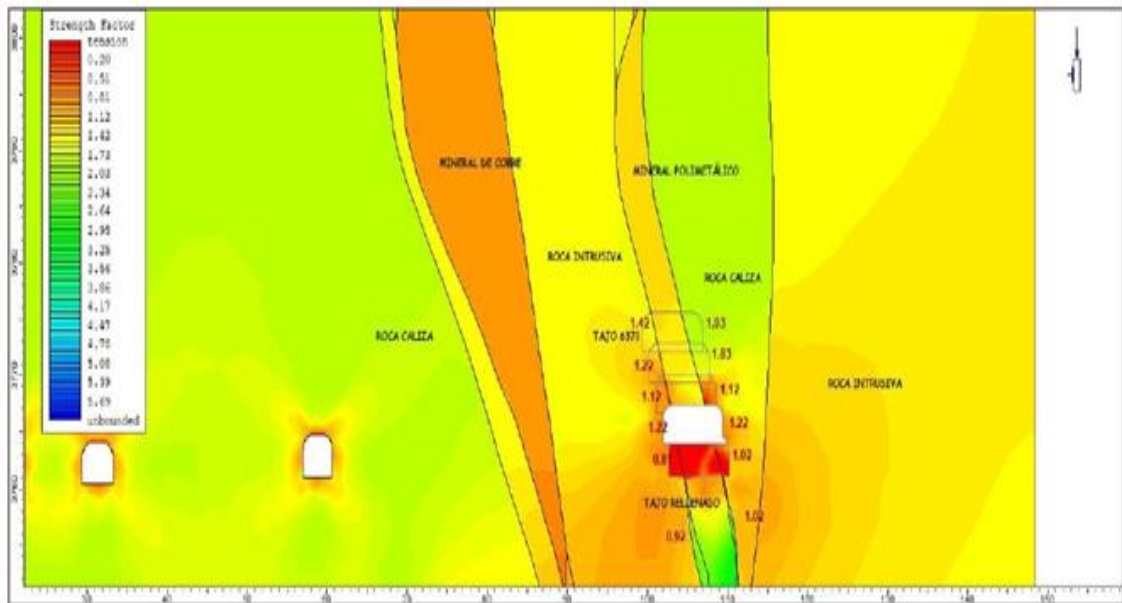


**Figura 28. Modelo general de simulación, tajo 6380**



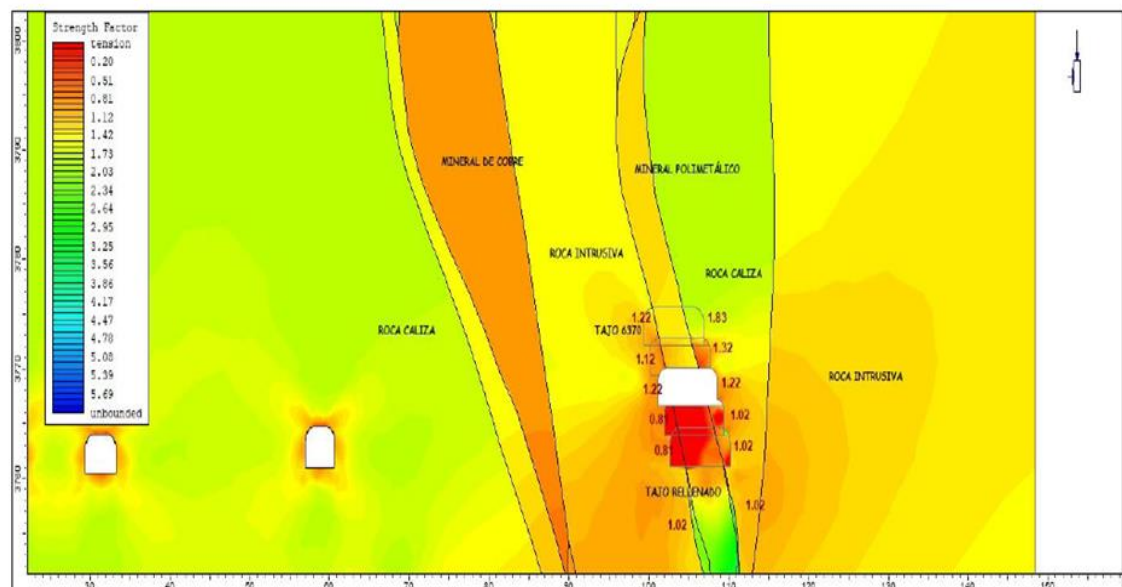
**Figura 29. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 07**

Piso 07 de corte – tajo 6380, se observa la concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril.



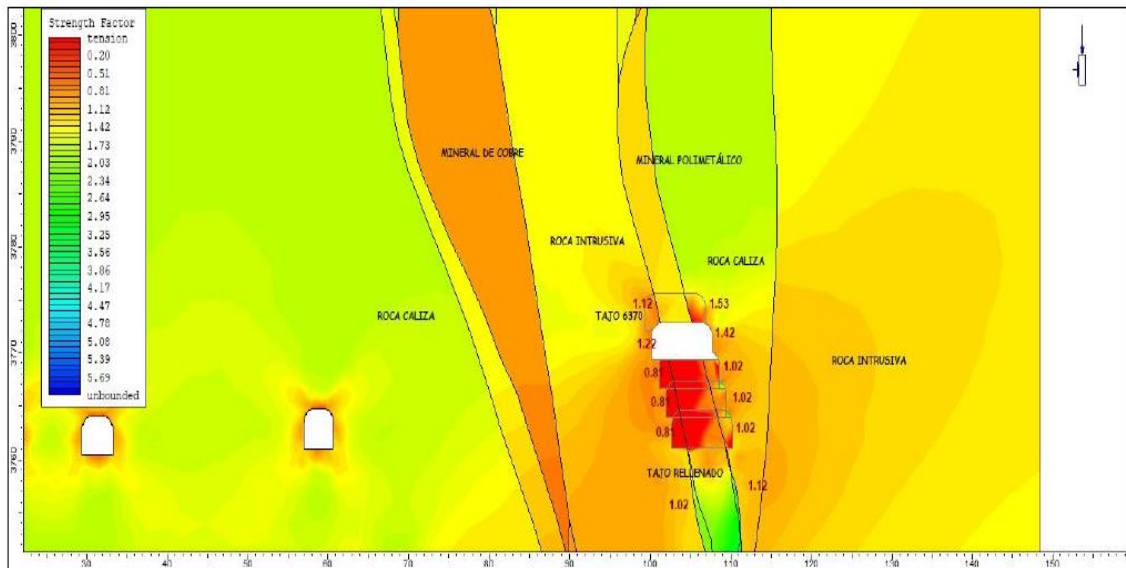
**Figura 30. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 08**

Piso 08 de corte – tajo 6380, se observa el incremento de concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril.



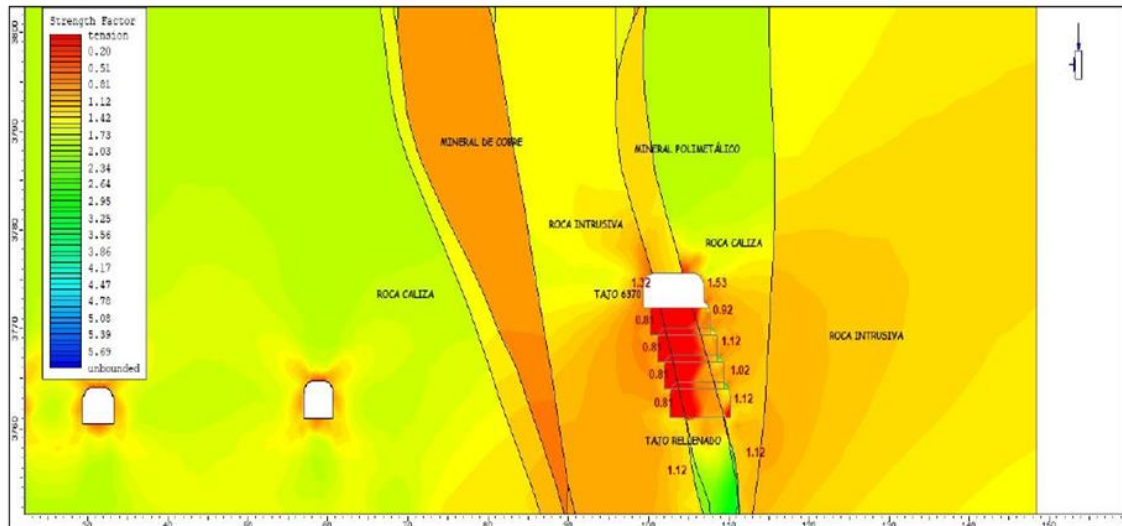
**Figura 31. Gráfico 9 Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 09**

Piso 09 de corte – tajo 6380, se observa el incremento de concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril.



**Figura 32. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 10**

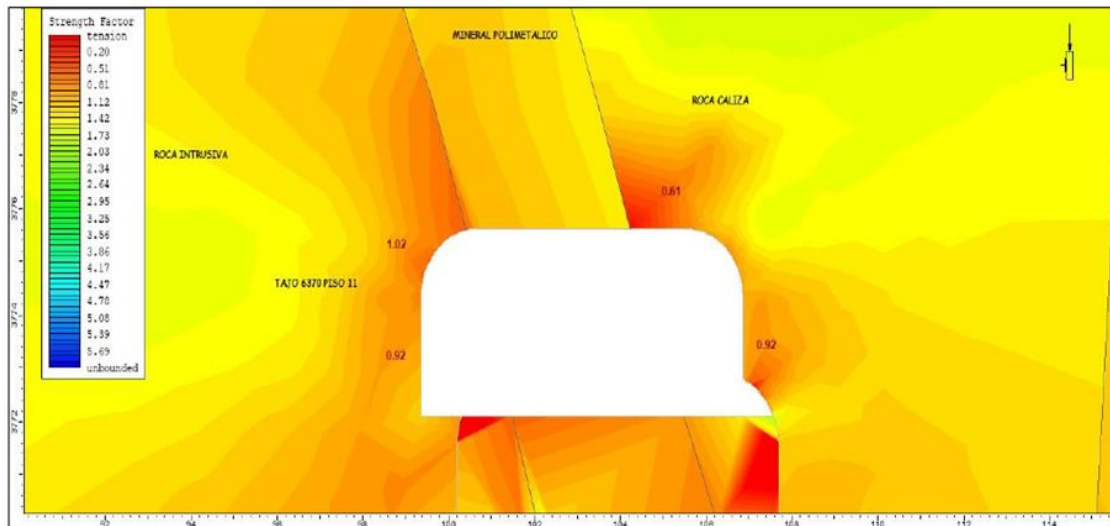
Piso 10 de corte – tajo 6380, se observa el incremento de concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril.



**Figura 33. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 10**

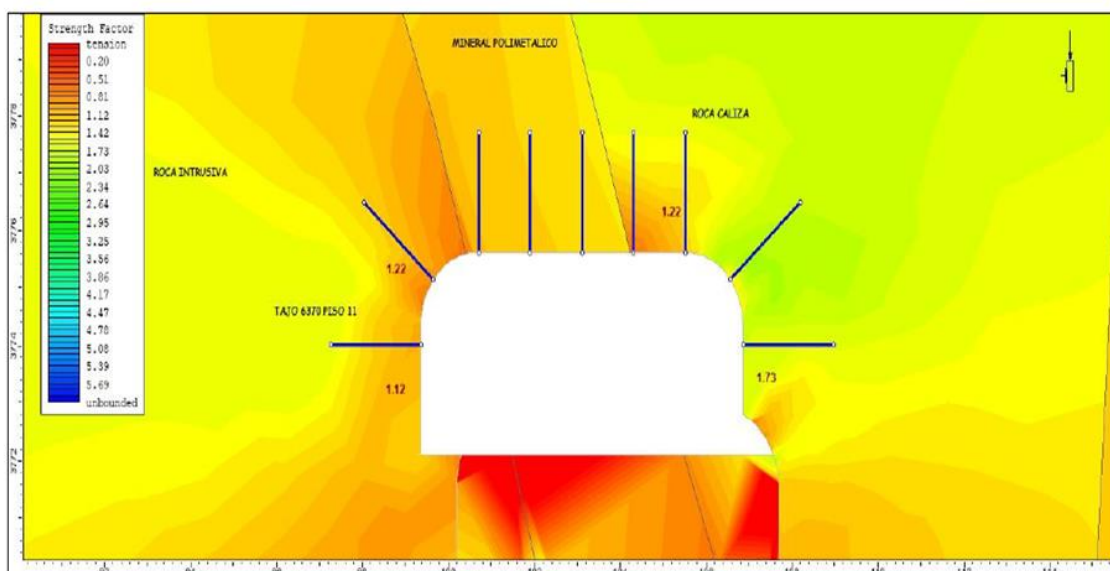
Piso 11 de corte – tajo 6380, se observa el incremento de concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril.





**Figura 34. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 11**

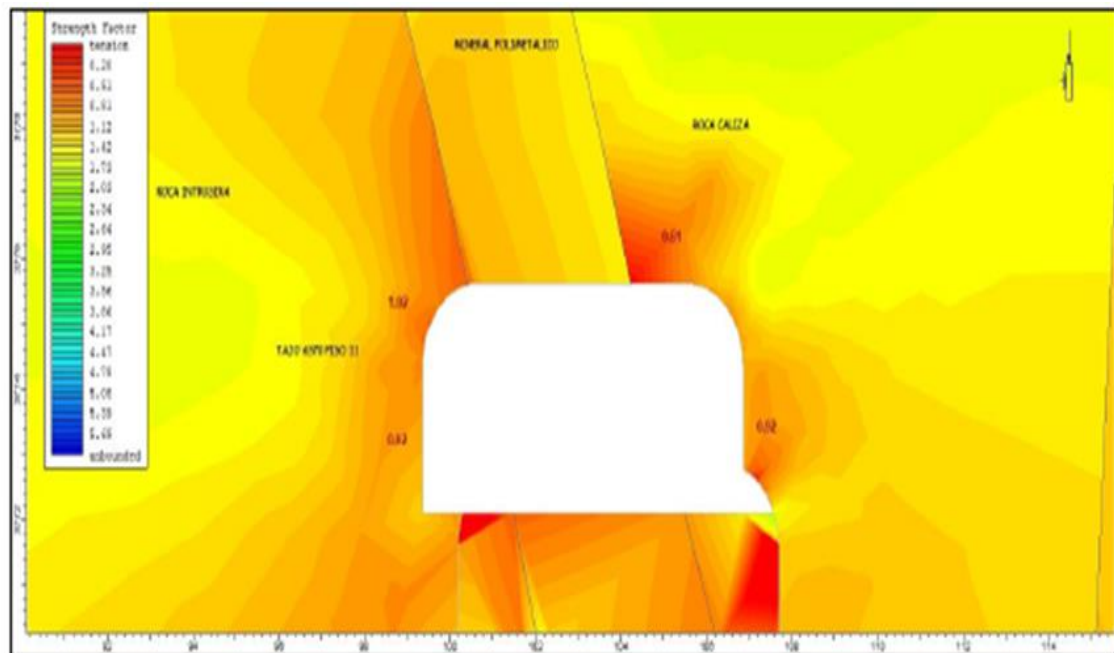
Piso 11 de corte – tajo 6380, se observa el incremento de concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril, El factor de seguridad en el techo del tajo va de 0.6 a 0.9.



**Figura 35. Modelo general de simulación, tajo 6380 – corte Piso 11**

Piso 11 de corte – tajo 6380, efecto del sostenimiento aplicado entorno a la excavación (shotcrete pesado: shotcrete 2" + malla electrosoldada + splitset + shotcrete 1"), El factor de seguridad en el techo es mayor a 1.1.





**Figura 36. Estabilidad controlada por esfuerzos – excavación sin sostenimiento**

La simulación efectuada nos permite conocer las condiciones de estabilidad los cuales convergen en factores de seguridad desfavorables respecto a la sección mostrada FS: 0.6 a 0.9 siendo la zona de mayor inestabilidad por corte (contacto de mineral/estéril).

#### **4.4 Diseño del sostenimiento**

##### **4.4.1 Diseño de sostenimiento mediante el uso del ábaco de Barton**

Para el diseño del sostenimiento se aplicó el ábaco propuesto por Barton el cual considera el ancho máximo de la excavación: 7.5 m, el parámetro ESR: 3, el valor del índice Q asociado al mineral polimetálico es de 0.4. Con los datos obtenidos se empleó el siguiente ábaco:

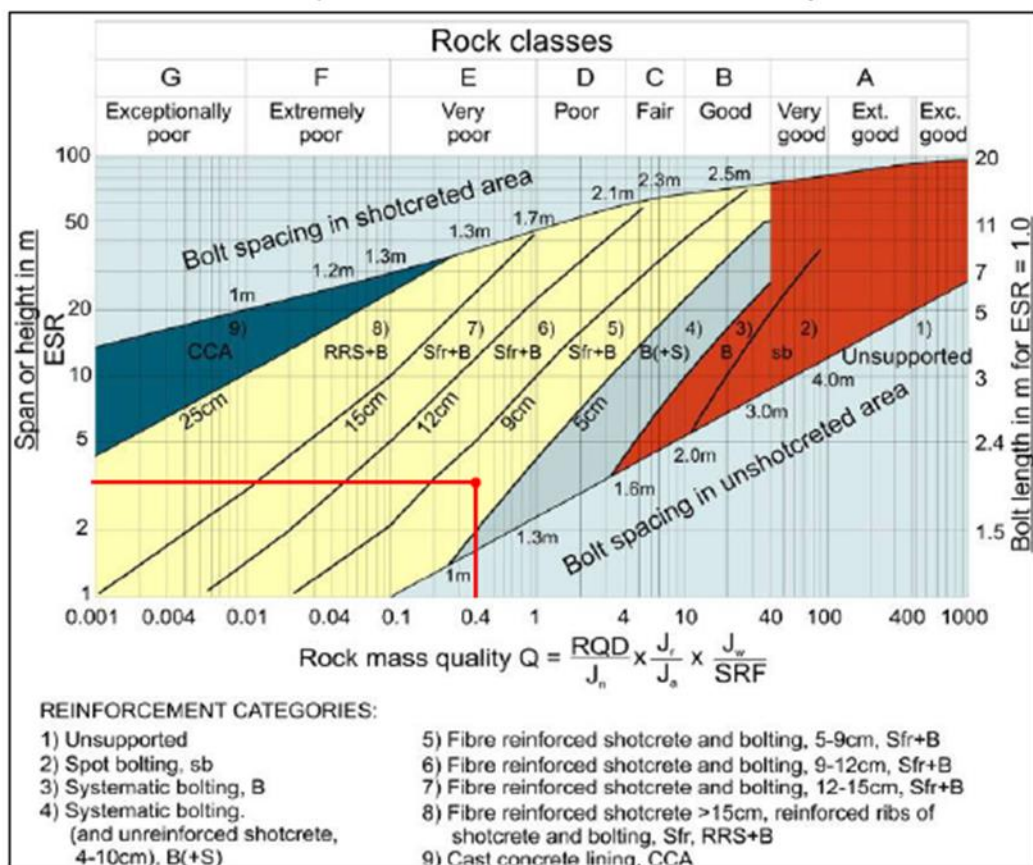


Figura 37. Abaco para el dimensionamiento de sostenimiento en el Tj.6380, Nv.1170

Tabla 25. Parámetros empleados en el diseño de sostenimiento

Parámetro	Valor
Span	7.5 m
ESR (Labor temporal)	3
Índice Q	0.4

De la aplicación del ábaco se obtiene una categoría de sostenimiento 5, el cual nos sugiere emplear *shotcrete* + fibra con un espesor de 5 a 9 cm y pernos.

Tomando como referencia los resultados del ábaco de Barton es que se recomienda aplicar el siguiente sostenimiento:

*Shotcrete* 2" + malla electrosoldada + pernos *splitset* 7 pies (1.2m x 0.85m) + *shotcrete* 1"

El diseño de mezcla de *shotcrete* recomendado es de 30 kg de fibra metálica y 420 kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de mezcla a ser lanzada.

#### 4.4.2 Análisis de influencia del sostenimiento en la excavación – modelo numérico

La aplicación del sostenimiento de *shotcrete* pesado en torno a la excavación – minado por corte: *shotcrete* 2" + malla electrosoldada + pernos *splitset* + *shotcrete* 1" permite estabilizar las condiciones desfavorables en la corona y hastiales, FS mayor a 1.2.

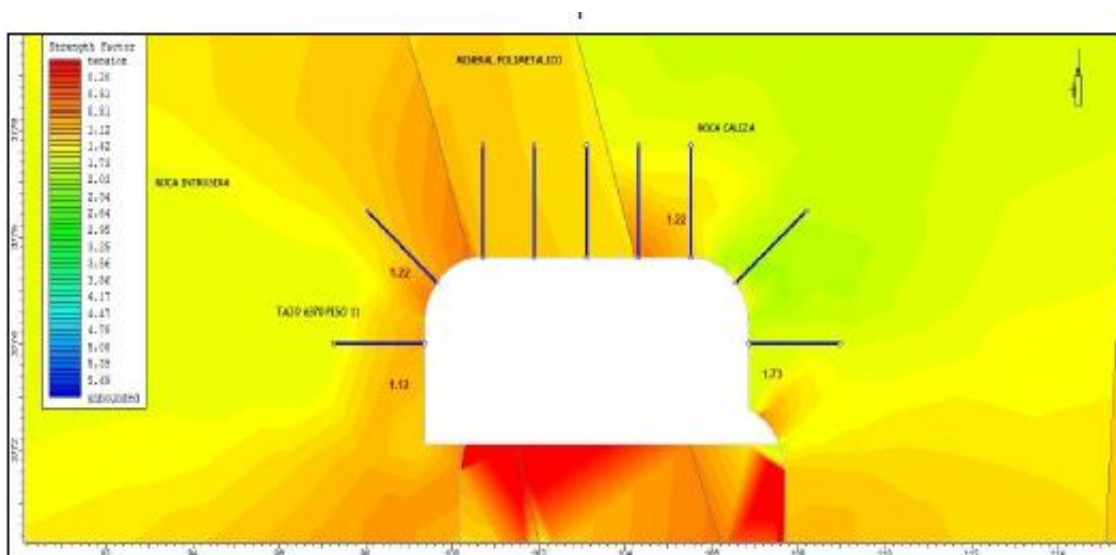


Figura 38. Estabilidad controlada por esfuerzos – excavación sostenida

#### 4.5 Discusión de resultado

##### 4.5.1 Sobre hipótesis general

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación sobre la hipótesis general que establece: la evaluación geomecánica de la masa rocosa que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y las propiedades de las discontinuidades tiene relación directa con la explotación del tajo 6380 nivel 2910 compañía minera Poderosa – 2020. El tajo en estudio: tajo 6380 piso 07 a piso 11 - cuerpo Mascota, se ubica en zona de profundización (Zona V), nivel 1170 – mina Central; se establece que de las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso para la exploración del tajeo 6380 del nivel 2910, de acuerdo a los datos obtenidos por el muestreo geomecánico, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV - <B, Regular III – A; los datos

obtenidos para la densidad es de  $2.7 \text{ t/m}^3$ , el esfuerzo vertical es de 23.90 Mpa, mientras que el valor del esfuerzo horizontal se 7.52 MPa.

Estos resultados guardan relación con lo establecido por los ingenieros Caizaluisa Jácome Verónica Carolina, Criollo Andagoya Silvana Alexandra, cuya investigación es: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”)”, en cuya conclusión establece que: La caracterización geomecánica realizada por el método de Bieniawski (1989) en la cantera Fucusucu III permitió determinar que la calidad del macizo rocoso va de clase IV (buena) a clase V (muy mala), predominando la roca de clase III (media). En tramos donde el material está altamente triturado adquirió una valoración RMR muy baja, es decir clase V (mala).

#### **4.5.2 Sobre la hipótesis específica N°1**

A partir de la hipótesis específica N° 1 que establece: la zonificación geomecánica del macizo rocoso tiene relación directa con la explotación del tajo 6380, se establece que de Los datos obtenidos de acuerdo de la clasificación geomecánica empleando la cartilla de Bieniawski y el uso de la simbología cromática por calidad de roca, la zonificación del área de trabajo está entre Mala IV - <B, Regular III, cuyos colores son van de naranja claro a oscuro.

Estos resultados guardan relación con lo establecido por los ingenieros Caizaluisa Jácome Verónica Carolina, Criollo Andagoya Silvana Alexandra, cuya investigación es: “Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”)”, en cuya conclusión establece que para el modelamiento se empleó el software especializado Map3D (Map3D International Ltd.), este es un software especializado en el análisis de esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad que utiliza el Método BEM (método de elementos de borde). Map3D es adecuado para los problemas de modelamiento del macizo rocoso que involucran excavaciones irregulares masivas en 3D, túneles y formas tabulares.

En tal sentido se establece que el uso de software especializados permite apreciar mejor los tajeos y/o labores mineras en un modelamiento tridimensional.

#### **4.5.3 Sobre la hipótesis específica N°2**

De la hipótesis específica N°2 que establece con los resultados de la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 permitirá establecer las etapas de minado del tajo 6380, se establece que la simulación de cómputo Unwedge versión 3,0 permitió detectar la formación de cuñas en relación a las etapas de minado las cuales permiten aparte ser observadas en tres dimensiones poder dimensionar el sistema de sostenimiento y analizar el factor de seguridad de acuerdo a los sistemas de discontinuidades formadas entorno a la excavación generan cuñas inestables en la corona  $FS = 0.79$ , al ser aplicado el sostenimiento con shotcrete 2" + malla electrosoldada + Split set 7 pies (1.2 m x 0.85 m) + shotcrete 1" la cuña es estabilizada  $FS = 1.8$

Estos resultados guardan relación con lo establecido por los ingenieros Caizaluisa Jácome Verónica Carolina, Criollo Andagoya Silvana Alexandra, cuya investigación es: "Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha ("Fucusucu III") y de Píntag ("Esperanza")", en cuya conclusión establece que para el modelamiento se empleó el software especializado Map3D (Map3D International Ltd.), este es un software especializado en el análisis de esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad que utiliza el Método BEM (método de elementos de borde). Map3D es adecuado para los problemas de modelamiento del macizo rocoso que involucran excavaciones irregulares masivas en 3D, túneles y formas tabulares.

En tal sentido se establece que el uso de software especializados permite apreciar mejor los tajeos y/o labores mineras en un modelamiento tridimensional lo que ayuda en este caso a dimensionar los tipos de sostenimiento a implementar en las labores mineras.

Del mismo modo, estos resultados guardan relación con lo expuesto por el ingeniero Angel Christopher Soto Vilca “Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea” que establece que las características geotécnicas presentes en el Túnel *Wayrasencca* están condicionadas a las características geológicas y estructurales del macizo rocoso. Estas características fueron medidas e identificadas en campo o zona de estudio. Todo el tramo del túnel se encuentra emplazada en tramos distintos de roca y material fluvioglaciario. Se obtuvieron las proyecciones estereográficas de los planos mayores principales y secundarios de las características estructurales del macizo rocoso. Para la representación e interpretación de las proyecciones estereográficas se utilizó el software Dips 6.0, estas a su vez se utilizaron para realizar el análisis y verificación del diseño de sostenimiento con el software Unwedge 3.0. en donde se obtuvieron un factor de seguridad mínimo de 3.611 en las cuñas perimetrales en el sector R-3 y un factor de seguridad mínimo de 3.415 en fallas planares en el sector R-4. Esto significa que el túnel se encontrará estable si se cumple con los procedimientos de excavación, avance y sostenimiento establecidos para cada unidad litológica.

#### **4.5.4 Sobre la hipótesis específica N°3**

De la hipótesis específica N° 3 que establece: los resultados de la simulación de deformación y esfuerzos verticales y horizontales mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 permite establecer los parámetros las etapas de minado del tajo 6380, se establece que el modelamiento general de simulación en el tajeo permitió determinar el incremento de la concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril, cuyo factor de seguridad en el techo del tajo va de 0.6 a 0.9, siendo la corona la zona de mayor inestabilidad.

Estos resultados guardan relación con lo establecido por el ingeniero Angel Christopher Soto Vilca, cuya investigación es: “Diseño de sostenimiento en el túnel *Wayrasencca* - Ollachea”, en cuya conclusión establece que utilizando toda la información básica mencionada en las conclusiones precedentes, se han realizado una serie de análisis, el dimensionamiento de los diferentes componentes estructurales asociados al minado estará en función del arreglo

estructural de la masa rocosa y del comportamiento esfuerzo/deformación de la misma, donde se determina las dimensiones apropiadas.

#### **4.5.5 Sobre la hipótesis específica N°4**

De la hipótesis específica N° 4 que establece: la interpretación del ábaco de Barton nos permite dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380, se establece que el diseño del sostenimiento aplicando el ábaco propuesto por Barton el cual considera el ancho máximo de la excavación: 7.5 m, el parámetro ESR: 3, el valor del índice Q asociado al mineral polimetálico es de 0.4, tomando como referencia los resultados del ábaco de Barton se establece aplicar el siguiente sostenimiento compuesto por *Shotcrete* 2" + malla electrosoldada + pernos *Split set* 7 pies (1.2m x 0.85m) + *shotcrete* 1"; cabe resaltar que el diseño de mezcla de *shotcrete* recomendado es de 30 kg de fibra metálica y 420 kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de mezcla a ser lanzada.

Estos resultados guardan relación con lo establecido por el ingeniero Angel Christopher Soto Vilca, cuya investigación es: "Diseño de sostenimiento en el túnel Wayrasencca - Ollachea", en cuya conclusión establece que las características estructurales y geológicas de la zona de estudio, determinaron las clasificaciones de Roca RMR y Q, además determinaron la clasificación de los suelos (material fluvio glacial) presentes en el portal de entrada y de salida del túnel. Dichas clasificaciones determinaron el tipo de sostenimiento a utilizar en los tramos de roca según las recomendaciones de Bieniawski y Barton.

## CONCLUSIONES

1. De las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso para la exploración del tajeo 6380 del nivel 2910, de acuerdo a los datos obtenidos por el muestreo geomecánico, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV - <B, Regular III – A; los datos obtenidos para la densidad es de 2.7 t/m<sup>3</sup>, el esfuerzo vertical es de 23.90 Mpa, mientras que el valor del esfuerzo horizontal se 7.52 MPa.
2. Los datos obtenidos de acuerdo de la clasificación geomecanica empleando la cartilla de Bieniawski y el uso de la simbología cromática por calidad de roca, la zonificación del área de trabajo está entre Mala IV - <B, Regular III, cuyos colores son van de naranja claro a oscuro.
3. La simulación de cómputo Unwedge versión 3,0 permitió detectar la formación de cuñas en relación a las etapas de minado las cuales permiten aparte ser observadas en tres dimensiones poder dimensionar el sistema de sostenimiento y analizar el factor de seguridad de acuerdo a los sistemas de discontinuidades formadas entorno a la excavación generan cuñas inestables en la corona FS = 0.79, al ser aplicado el sostenimiento con shotcrete 2" + malla electrosoldada + Split set 7 pies (1.2 m x 0.85 m) + shotcrete 1" la cuña es estabilizada FS = 1.8.
4. El modelamiento general de simulación en el tajeo permitió determinar el incremento de la concentración de esfuerzos en la corona de la excavación, contacto mineral/estéril, cuyo factor de seguridad en el techo del tajo va de 0.6 a 0.9, siendo la corona la zona de mayor inestabilidad.
5. El diseño del sostenimiento aplicando el ábaco propuesto por Barton el cual considera el ancho máximo de la excavación: 7.5 m, el parámetro ESR: 3, el valor del índice Q asociado al mineral polimetálico es de 0.4, tomando como referencia los resultados del ábaco de Barton se establece aplicar el siguiente sostenimiento compuesto por Shotcrete 2" + malla electrosoldada + pernos



splitset 7 pies (1.2m x 0.85m) + shotcrete 1"; cabe resaltar que el diseño de mezcla de shotcrete recomendado es de 30 kg de fibra metálica y 420 kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de mezcla a ser lanzada.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar el muestreo geomecánico permanente con dos a más cartillas geomecánicas a fin comparar el resultado para caracterizar constantemente el macizo rocoso.
2. Actualizar permanentemente los planos geomecánicos empleando la simbología cromática para tener una permanente zonificación de la calidad de roca.
3. Realizar la simulación de cómputo Unwedge versión 3,0 para detectar la formación de cuñas en relación a las etapas de minado.
4. Realizar el modelamiento general de simulación de la concentración de esfuerzos versus factor de seguridad para la explotación del tajeo.
5. Aplicar el sostenimiento aplicando el ábaco propuesto por Barton por ser explícito en el dimensionamiento.
6. Cumplir con lo establecido en reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, que en su artículo 213 establece que antes de iniciar o continuar un trabajo en minería se realizara la evaluación geomecánica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RINCÓN SILVA, Bertha. *Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá*. Monografía. (Título de Ingeniero Geólogo). Bogotá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, 2016, 87 pp.
2. CAIZALUISA JÁCOME, Verónica y CRIOLLO ANDAGOYA, Silvana. *Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu III”) y de Píntag (“Esperanza”)*. (Título de Ingenierías en Geología) Quito: Universidad Central del Ecuador, 2015, 106 pp.
3. PANTALEÓN JUNCO, Hernán y CARBAJAL ISIDRO, Christian. *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea*. (Título de Ingeniero de Minas) Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017, 116 pp.
4. SOSA PAUCAR Jhon. *Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera Cerro Lindo – compañía minera Milpo*. (Título de Ingeniero de Minas). Peru: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. 2016, 126 pp.
5. GEOLOGÍAWEB. *Geología general* . [En línea] Lima, 2019. [Fecha de consulta: 6 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://geologiaweb.com/category/geologia-general/>
6. OSINERMIN. *Guía-Criterios-Geomecánicos*. [En línea] Lima, 2017. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2020]. Disponible en: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf)
7. PODEROSA. *Quienes somos*. [En línea] Lima, 2016. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2020]. Disponible en: [https:// www.poderosa.com.pe/quienes-somos/poderosa](https://www.poderosa.com.pe/quienes-somos/poderosa)

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
General	¿Cuál es el resultado de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020?	Determinar los resultados de la evaluación geomecánica de la masa rocosa para la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020.	La evaluación geomecánica de la masa rocosa que comprende las propiedades físicas, mecánicas de la roca intacta y las propiedades de las discontinuidades tiene relación directa con la explotación del tajo 6380 Nv.2910 compañía minera Poderosa - 2020.	Independiente
				Evaluación geomecánica de la masa rocosa
				<b>Dependiente</b>
				Explotación de tajo
Específicos	A) ¿cuál es la zonificación geomecánica del macizo rocosa para la explotación del tajo 6380?	A) realizar la zonificación geomecánica del macizo rocosa para la explotación del tajo 6380.	A) la zonificación geomecánica del macizo rocosa tiene relación directa con la explotación del tajo 6380	
	B) ¿Cuál es resultado de la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380?	B) Analizar la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380.	B) Con los resultados de la simulación de cuñas formadas mediante el programa de cómputo Unwedge versión 3,0 permitirá establecer las etapas de minado del tajo 6380	
	C) ¿Cuál es el resultado de la simulación de deformación y esfuerzos mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380?	C) Interpretar el resultado de la simulación de deformación y esfuerzos mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 en relación a las etapas de minado del tajo 6380	C) Los resultados de la simulación de deformación y esfuerzos verticales y horizontales mediante el programa de cómputo Phase2 versión 8,0 permite establecer los parámetros las etapas de minado del tajo 6380	

D) ¿Cuál es el resultado de la interpretación del ábaco de Barton con el fin de dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380?

D) La interpretación del ábaco de Barton nos permite dimensionar el sostenimiento para la explotación del tajo 6380

	Concepto	Dimensión	Indicador
<b>Variable independiente</b>  Evaluación geomecánica de la masa rocosa	Un macizo rocoso es un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo conformado en conjunto tanto por bloques de matriz rocosa y distintos tipos de discontinuidades que afectan al medio rocoso, mecánicamente los macizos rocosos pueden considerarse que presentan resistencia a la tracción nula. El conjunto de discontinuidades y bloques de matriz gobiernan el comportamiento mecánico global del macizo rocoso, es así, que para el estudio del comportamiento mecánico del macizo rocoso se debe analizar las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.	• Zonificación geomecánica	S/u
		• Formación de cuñas	N°
		• Esfuerzos	Mpa
		• Abaco de Barton	M
<b>Variable Dependiente</b>  Explotación de tajo	En una mina subterránea es aquella explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno	• Seguridad • Volumen de mineral • Dilución	N° T %

## Anexo 2

### Formato de mapeo geomecánico por celdas

FORMATO DE MAPEO GEOMECANICO POR CELDAS														
COMPañIA MINERA:					MAPEADO POR:					FECHA:				
UNIDAD:					REVISADO POR:					Nº FOTO:				
UBICACIÓN/NIVEL:					LITOLÓGIA:					ESTACION GEOMECANICA N°				
DOMINIO:					COORDENADAS WGS84:		X:		Y:		Z:			
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL					CLASIFICACIÓN RMR (BIENIAWSKI, 1976)									
Nº	Buz(°)	Dir. Buz(°)	Fam	Tipo	1	RESISTENCIA ROCA INTACTA	PICOTA Is(50) UCS	R6 > 8MPa > 200 MPa	R5 4 - 8 MPa 100 -200 MPa	R4 2-4 50-100MPa	R3 1-2 25-50	R2 10-25	R1 3-10	R0 1-3
1						2	VALORACIÓN	15	12	7	4	2	1	0
2					3	RQD	90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%			
3					4	VALORACIÓN	20	17	13	8	3			
4					5	ESPACIAMIENTO	> 3 m	1 - 3 m	0.3 - 1 m	50 - 300 mm	<50mm			
5					6	VALORACIÓN	30	25	20	10	5			
6					4	CONDICION DE LAS JUNTAS	Superficies Muy Rugosas, no continuas, sin separación, superficies duras	Superficies medianamente rugosas, Separación <1mm, Superficies Duras	Superficies Medianamente Rugosas, Separación <1mm Superficies Blandas	Espejo de Falla o Salbanda <1-5mm Fracturas Continuas	Salbanda Blanda >5mm de espesor, Discontinuidades abiertas >5mm Fracturas continuas 0 Problemas Severos de Agua			
7														
8														
9														
10					5	AGUA SUBTERRANEA	Completamente seco				Solo Húmedo (Agua Intersticial)			
11							VALORACIÓN	10	7	4	0			
					CLASIFICACION Q (ROCK TUNNELING QUALITY INDEX, BARTON 1974)									
					RQD	Familias	Jn Rating	Jn Random						
					Jn	Intacta	0.5	1						
					Jr	1 Set	2	3						
					Ja	2Set	4	6						
					Jw	3Set	9	12						
					SRF	>4Set	15	20						
					DESCRIPCIÓN TÍPICA (Familia de Diaclasas más Crítica)				Jn					
					Fuertemente ajustadas				0.7500					
					Superficies sólo blandas				1					
Núcleo de roca con diaclasas con una diaclasa				1.0 - 1.8										
Paredes de diaclasas ligeramente alteradas. Canchales de fragmentos minerales				2.01 - 2.8										
Superficie puede ser Rara o con la Uña - Se sienta Rasbolsa				2										
Roca de tipo de Baja Fricción (Duro, Medio, Blando, Anillo) - Se sienta Blando				3.0 - 6.0										
Roca de tipo de Baja Fricción - Se sienta Blando				4										
Salbanda Gruesa, Baja Fricción o Anillo Hinchable 1 - Brea Gruesa				6.0 - 10.0										
Salbanda Gruesa, Baja Fricción o Anillo Hinchable > 5mm Gruesa				10.0 - 20.0										
Diseño														
Observaciones														

Tomado de Guía-Criterios-Geomecánicos Osinergmin.gob.pe

### Anexo 3

#### Tabla geomecánica (GSI) compañía minera Poderosa

CARTILLA GEOMECÁNICA <small>Rev. 02</small>				
LABORES DE EXPLOTACIÓN Y AVANCES				
Indice de Resistencia Geológica (GSI)	Condición Superficial (Golpes de picota)			
	Se Rompe	Se Rompe	Se Rompe	Se Indenta
ESTRUCTURA Grado de fracturamiento	Con 3 o mas Golpes de Picota	Con 1 o 2 Golpes de Picota	Superficialmente con golpes de Picota	Mas de 5 mm.
Se basa en la cantidad de fracturas por metro cuadrado, medidos insitu con flexometro.	<b>B</b>	<b>R</b>	<b>P</b>	<b>MP</b>
	Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre
Condición Estructural - Fracturas/m <sup>2</sup>	2 a 5 LF Levemente Fracturada	<b>A</b> LF/B	<b>B</b> LF/R	-
	6 a 11 F Moderadamente Fracturada	<b>B</b> F/B	<b>B</b> F/R	<b>C</b> F/P
	12 a 20 MF Muy Fracturada	<b>B</b> MF/B	<b>C</b> MF/R	<b>D</b> MF/P
	>20 IF Intensamente Fracturada	-	<b>D</b> IF/R	<b>E</b> IF/P











TIPOS DE SOSTENIMIENTOS LABORES DE EXPLOTACIÓN (TEMPORAL) U.P. SANTA MARIA			
Parámetros Geomecánicos		ANCHO DE MINADO > 2.40 M	ANCHO DE MINADO < 2.40 M
CALIDAD	RMR		
<b>A</b>	81 - 100	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.80 m	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.80 m en las cajas + split set espaciado a 1.80 m en zona mineralizada
<b>B</b>	61 - 80	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.50 m	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.50 m en las cajas + split set espaciado a 1.50 m en zona mineralizada
<b>C</b>	51 - 60	Split set y/o RS Bolt sistemático espaciados a 1.50 m.	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.30 m en las cajas + split set espaciado a 1.50 m en zona mineralizada
<b>D</b>	41 - 50	RS Bolt sistemático espaciado a 1.20 m + malla electrosoldada	Puntal con Jackpot sistemático espaciado a 1.00 m en las cajas con guarda cabeza
<b>E</b>	21 - 40	Cuadros de madera espaciados a 1.50 m guarda cabeza en dirección al minado	Cuadros de madera espaciados a 1.50 m guarda cabeza en dirección al minado
<b>F</b>	<20	Cuadros de madera espaciados a 1.20 m guarda cabeza	Cuadros de madera espaciados a 1.20 m guarda cabeza en dirección al minado

ELECCIÓN DEL TIPO DE EXPLOSIVO			FACTORES INFLUYENTES	
TIPO DE ROCA	TAJO	AVANCE	Sin factores influyentes	F/R
LF/B	Emulex 65	Anfo		
F/B LF/R		Emulex 100%	Con factores influyentes	F/R
F/R MF/R F/P	Emulex 65	Emulex 80%		
	Emulex 65	Emulex 65%		
MF/R F/P	Emulex 45%	Semexa 65%		
MF/P MF/MP IF/P	Emulex 45%	Emulex 45%		
IF/MP	Exablock 45%			

Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.



**Anexo 4**  
**Simbología cromática por calidad de roca**

Categoría		RMR	Código de Colores	Descripción
I	I-A	91-100		Roca muy buena I-A
	I-B	81-90		Roca muy buena I-B
II	II-A	71-80		Roca buena II-A
	II-B	61-70		Roca buena II-B
III	III-A	51-60		Roca regular III-A
	III-B	41-50		Roca regular III-B
IV	IV-A	31-40		Roca mala IV-A
	IV-B	21-30		Roca mala IV-B
V	V-A	11-20		Roca muy mala V-A
	V-B	0-10		Roca muy mala V-B

*Tomado de Compañía Minera Poderosa S. A.*